

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE CUENCA

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO AMBIENTAL

TRABAJO EXPERIMENTAL:

ESTUDIO DE METABOLISMO URBANO EN LA CIUDAD DE CUENCA

AUTOR:

Christian Efraín Jaramillo Ochoa

TUTOR:

Ing. Antonio Barragán Escandón, MSC

Cuenca-Ecuador

Abril 2017

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, Christian Efraín Jaramillo Ochoa, con documento de identificación N° 0705470433, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de titulación: “ESTUDIO DE METABOLISMO URBANO EN LA CIUDAD DE CUENCA” mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: INGENIERO AMBIENTAL, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Christian Efraín Jaramillo Ochoa', is written over a horizontal dotted line.

Christian Efraín Jaramillo Ochoa

0705470433

Cuenca, abril 2017

CERTIFICACIÓN

Yo declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación “ESTUDIO DE METABOLIS URBANO EN LA CIUDAD DE CUENCA” realizado por Christian Efraín Jaramillo Ochoa, obteniendo un trabajo experimental que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana.



ING. ANTONIO BARRAGÁN ESCANDÓN. MSC

Tutor de tesis

Cuenca, abril 2017

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Yo, Christian Efraín Jaramillo Ochoa, con documento de identificación N° 0705470433, autor del trabajo de titulación “ESTUDIO DE METABOLISMO URBANO EN LA CIUDAD DE CUENCA” certifico que el total contenido del trabajo experimental es de mi exclusiva responsabilidad y autoría.



.....

Christian Efraín Jaramillo Ochoa

0705470433

Cuenca, abril 2017

DEDICATORIA

A mis padres, Efraín Jaramillo y Flor Ochoa

AGRADECIMIENTO

A mi tutor por su entrega en las correcciones y conocimientos compartidos

A todas las instituciones que brindaron la apertura a la información, ya que sin su colaboración este trabajo no se hubiera realizado: Empresa Pública Municipal de Telecomunicaciones, Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (ETAPA EP), Empresa Pública Municipal de Aseo de Cuenca (EMAC EP), Agencia de Regulación y Control de Hidrocarburos (ARCH), Empresa Pública Municipal de Movilidad y Transporte Terrestre (EMOV EP), GAD Municipal del Cantón Cuenca.

A los profesionales de las diferentes instituciones que estuvieron prestos para la entrega y análisis de la información.

A mi familia, docentes, amigos y compañeros que fueron parte de este proceso académico.

RESUMEN

Las ciudades cada vez requieren de más energía, materiales, agua, nutrientes u otros recursos necesarios para sustentar su desarrollo. En estos espacios urbanos el consumo de recursos y la producción de residuos es muy elevada, en el futuro, una inadecuada provisión de los mismos, podría derivar en escases, inequidad económica en la población así como problemas ambientales críticos.

Un estudio de Metabolismo Urbano sería el primer paso para comprender los flujos de energía y de materiales que posteriormente podrán ser optimizados, principalmente mediante políticas públicas. Sin embargo, para poder medir estos flujos metabólicos en una ciudad se requiere de información representativa tanto en espacio y tiempo. Es así, que este proyecto pretende en primera instancia recopilar todos los datos disponibles que se requieran para realizar un estudio de flujos de materiales y energía dentro del sistema urbano de la ciudad de Cuenca. El análisis del sistema urbano incluye datos de población y el requerimiento de agua potable, energía eléctrica, servicios de recolección de basura y recolección de aguas servidas. Para completar el análisis se ha reunido y analizado el consumo de combustibles, alimentos, materiales de construcción y emisiones. Se ha realizado una intensa recopilación de información la misma que ha permitido definir flujos de materiales y energía para la ciudad, sin embargo no toda la información se ha recopilado. Por esta razón, este proyecto también determina el tipo de información que se debería complementar para estudiar a la ciudad de Cuenca con un enfoque de Metabolismo Urbano.

ÍNDICE

RESUMEN	VII
ÍNDICE.....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS	XI
ÍNDICE DE FIGURAS	XII
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Problema.....	1
1.2. Delimitación	2
1.2.1. Ubicación.....	2
1.3. Objetivos.....	4
1.3.1. Objetivo general	4
1.3.2. Objetivos específicos	4
2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	5
2.1. Crecimiento urbano	5
2.1.1. Crecimiento Urbano en Ecuador	6
2.1.2. Crecimiento urbano en Cuenca.....	7
2.2. El ecosistema urbano	8
2.3. Impacto ambiental por el crecimiento urbano	9
2.4. Sustentabilidad urbana.....	10
2.5. Concepto de Metabolismo Urbano	11
2.6. Métodos y modelos para medir el MU	12
2.6.1. Análisis de Flujo de Materiales y Energía.....	14

2.7.	Estudios de Metabolismo Urbano	17
2.8.	Flujos Metabólicos Analizados y Resultados Obtenidos	18
2.9.	Aplicaciones del Metabolismo Urbano	23
2.10.	Limitaciones del Metabolismo Urbano	24
3.	DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA DE ESTUDIO	26
3.1.	Aspectos poblacionales.....	26
3.2.	Densidad poblacional	27
3.3.	Distribución de la población por sexo y edad.....	30
3.4.	Población económicamente activa.....	31
3.5.	Aspectos económicos	32
3.5.1.	Economía de Cuenca por sectores económicos.....	35
3.6.	Clima	36
3.7.	Uso y cobertura del suelo	37
3.7.1.	Cobertura y uso del suelo urbano	40
3.7.2.	Áreas verdes	43
3.8.	Áreas de bosque y vegetación protectora	44
3.9.	Agua	44
3.9.1.	Cobertura de agua potable	49
3.10.	Energía.....	52
3.11.	Emisiones	58
3.12.	Calidad del aire.....	59
3.13.	Aguas residuales.....	60
3.14.	Residuos sólidos	63
4.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	65

4.1.	Diseño.....	65
4.2.	Flujos metabólicos escogidos para medir el MU de la ciudad de Cuenca	67
5.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	69
5.1.	Análisis y presentación de los datos	69
5.1.1.	Flujos de entrada.....	69
5.1.1.1.	Agua.....	69
5.1.2.	Energía.....	74
5.1.2.1.	Energía Eléctrica.....	74
5.1.3.	Energía fósil.....	78
5.1.3.1.	Combustibles líquidos	78
5.1.3.2.	Consumo Industrial.....	80
5.1.3.3.	Combustibles Gaseosos	81
5.2.	Flujos de salida	83
5.2.1.	Aguas residuales	83
5.2.2.	Emisiones	84
5.2.3.	Residuos Sólidos	87
5.2.3.1.	Reciclaje y Compost.....	90
5.3.	Indicadores per-cápita.....	93
5.4.	Discusión	95
5.4.1.	Agua potable y aguas residuales.....	95
5.4.2.	Energía y emisiones.....	97
5.4.3.	Materiales y residuos sólidos.....	101
5.5.	Escenario tendencial	104
5.6.	Propuestas para la reducción del metabolismo urbano en la ciudad de Cuenca.....	109
6.	CONCLUSIONES	111

7. RECOMENDACIONES	114
8. BIBLIOGRAFÍA	115

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Principales métodos para medir el metabolismo urbano	14
Tabla 2: Principales flujos de entrada utilizados en AFME	21
Tabla 3: Principales flujos de salida utilizados en AFME	22
Tabla 4: Población a nivel parroquial del cantón Cuenca	26
Tabla 5: Densidad poblacional bruta de ciudades de América Latina	29
Tabla 6: Población económicamente activa (PEA) Cuenca	31
Tabla 7: Valor Agregado Bruto (VAB) del cantón Cuenca	33
Tabla 8: Tipo de cobertura y uso de suelo cantón Cuenca	40
Tabla 9: Evolución del consumo per cápita en la ciudad de Cuenca	50
Tabla 10: Contaminantes monitoreados en la ciudad de Cuenca (concentración promedio anual)	59
Tabla 11: Flujos Metabólicos de análisis para la ciudad de Cuenca	67
Tabla 12: Producción y consumo final de agua potable 1996-2016	70
Tabla 13: Consumo de agua por categorías 2003-2016	72
Tabla 14: Tasa de variación anual del consumo de agua por sectores 2003-2016	73
Tabla 15: Consumo eléctrico por sectores (MWh) en la zona urbana de Cuenca 2012-2015	76
Tabla 16: Tasa de Variación del consumo eléctrico en la zona urbana de Cuenca 2012-2015	76
Tabla 17: Energía consumida por tipo de cliente (kWh/cliente/año)	77
Tabla 18: Clientes registrados en la zona urbana 2012-2015	77
Tabla 19: Consumo de combustibles para transporte (galones) 2002-2015	79
Tabla 20: Tasa de variación anual del consumo de combustibles para transporte	79
Tabla 21: Producción de aguas residuales 2005-2016	83
Tabla 22: Emisiones cantón Cuenca 2007-2014	86

Tabla 23: Residuos sólidos recolectados discriminados por su origen año 2016-----	89
Tabla 24: Residuos sólidos recolectados discriminados por su origen 2006-1016 -----	90
Tabla 25: Evolución en la composición típica de los residuos sólidos urbanos-----	93
Tabla 26: Indicadores per-cápita de los flujos metabólicos ciudad de Cuenca-----	94
Tabla 27: Propuestas para la reducción del metabolismo urbano en la ciudad de Cuenca-----	109

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación geográfica del cantón Cuenca.....	3
Figura 2: División Política Administrativa del cantón Cuenca.....	4
Figura 3: Población mundial rural y urbana, 1950-2050	5
Figura 4: Crecimiento demográfico del Ecuador	7
Figura 5: Crecimiento demográfico cantón Cuenca	8
Figura 6: Principales flujos de entrada y salida en el sistema urbano	17
Figura 7: Densidad poblacional a nivel cantonal	28
Figura 8: Densidad poblacional urbana.....	29
Figura 9: Pirámide de la Población Urbana de Cuenca 2010	30
Figura 10: Valor Agregado Bruto (VAB) del cantón Cuenca	34
Figura 11: Tasa de crecimiento anual del VAB-cantón Cuenca y Ecuador	34
Figura 12: Uso y cobertura de suelo del cantón Cuenca.....	38
Figura 13: Uso y cobertura del suelo zona urbana de Cuenca.....	39
Figura 14: Usos de suelo urbano no residenciales	43
Figura 15: Áreas de bosques y vegetación protectora en el cantón Cuenca:	47
Figura 16: Hidrografía del cantón Cuenca	48
Figura 17: Cobertura de agua potable de Cuenca	51
Figura 18: Distribución espacial del consumo eléctrico en la ciudad de Cuenca	53
Figura 19: Consumo de combustibles líquidos cantón Cuenca.....	54
Figura 20: Consumo de combustibles gaseosos cantón Cuenca.....	55

Figura 21: Centros de distribución y consumo de combustibles cantón Cuenca	56
Figura 22: Intensidad del tráfico ciudad de Cuenca	57
Figura 23: Cobertura de aguas residuales tratadas de Cuenca	62
Figura 24: Cobertura de recolección de residuos sólidos Cuenca	64
Figura 25: Proceso metodológico en el estudio del MU de la ciudad de Cuenca	67
Figura 26: Producción y consumo de agua potable 1996-2016	71
Figura 27: Evolución del consumo de agua desagregado por sector industrial y otros 2003-2016	74
Figura 28: Estructura del consumo eléctrico en la zona urbana de Cuenca	75
Figura 29: Evolución del consumo de combustibles para transporte	80
Figura 30: Consumo industrial de combustibles líquidos 2007-2015	81
Figura 31: Cambio de la matriz de consumo energético industrial entre el 2007 y 2015.	82
Figura 32: Evolución de las emisiones de GEI y contaminantes en el cantón Cuenca	86
Figura 33: Distribución espacial de las emisiones de contaminantes primarios en el cantón Cuenca	87
Figura 34: Evolución de la producción de residuos sólidos 2006-2016	90
Figura 35: Material inorgánico reciclado 2009-2015	91
Figura 36: Composición de residuos inorgánicos comercializables	91
Figura 37: Material orgánico aprovechado en compostaje 2008-2015	92
Figura 38: Consumo de agua per-cápita de ciudades Latinoamericanas	96
Figura 39: Consumo de energía por sectores 2015	97
Figura 40: Comparativa de la estructura de consumo por fuente energética entre Cuenca y Ecuador	98
Figura 41: Emisiones per-cápita de CO₂-eq de ciudades Latinoamericanas	101
Figura 42: Composición típica de los residuos sólidos urbanos año 2007-2015	102
Figura 43: Producción per-cápita de residuos sólidos urbanos ciudades Latinoamericanas	103

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Problema

Cuenca es la tercera ciudad más poblada del Ecuador, con 505.585 habitantes a nivel cantonal según el Censo Nacional de Población y Vivienda (CNPV) (2010). Cuenca es considerada una ciudad intermedia que se ha caracterizado por adecuados servicios públicos. Se destaca la provisión constante de energía, agua y servicios de saneamiento ambiental. Los procesos de urbanización han hecho que un 65,6% de la población tiendan a vivir en la ciudad (SENPLADES, 2014). Debido a este grado de urbanización se requiere tener claro los recursos que la ciudad consume, así como el impacto en el manejo de estos sobre el medioambiente. La falta de conocimiento del manejo de la energía y materiales en la ciudad y las posibles tendencias a futuro, pueden ser limitantes para que se planteen políticas públicas alejadas de la sostenibilidad.

El MU, estudia principalmente los flujos de energía, materiales, nutrientes y agua. Para este proyecto, primero se determinará la disponibilidad de datos para poder describir a la ciudad de Cuenca bajo este enfoque.

Este proyecto busca reunir en un solo estudio información relevante que permita establecer las condiciones de la ciudad de Cuenca en términos de materiales y energía, así como las relaciones entre emisiones, efluentes y desechos. Para lograr esto se utilizará la metodología de contabilidad de flujos. Las limitaciones en este estudio se dan principalmente por la falta de datos que se puedan recolectar, sin embargo, el determinar qué tipo de datos se requeriría para completar un estudio con profundidad también se considera un objetivo, pues posibilitará que otros análisis más específicos valoren e identifiquen la información faltante.

1.2. Delimitación

En Ecuador se han establecido diferentes niveles administrativos, también conocidos como niveles de gobierno. La Constitución del Ecuador categoriza seis niveles de gobierno: Gobierno Central, Gobiernos Regionales Autónomos, Gobiernos Provinciales, Gobiernos Municipales o Cantonales, Gobiernos Parroquiales, y Distritos Metropolitanos Autónomos. Por lo tanto, la estructura territorial del país está conformada en regiones, provincias, cantones, parroquias, y distritos metropolitanos (Quito y Guayaquil) (Asamblea Nacional, 2010).

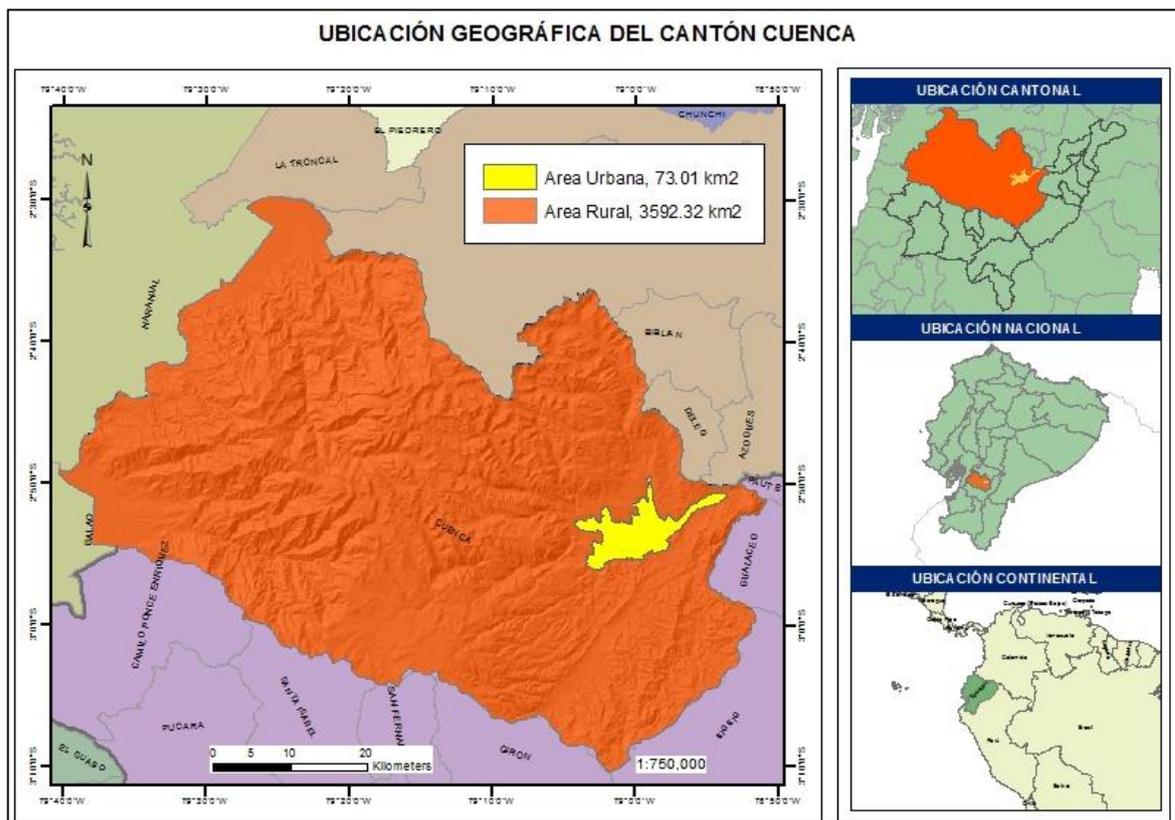
En primera instancia, el territorio administrativo cantonal es el límite geográfico de este trabajo, en el cual se analizará los aspectos más importantes y que tienen relación con el análisis del MU de la ciudad. La división cantonal está conformado por dos tipos de áreas, la zona urbana y la zona rural. De acuerdo a la “Codificación Geográfico Estadístico – esquema de codificación de la División Político Administrativa”, la zona urbana comprende los asentamientos o núcleos urbanos que son capitales provinciales y cabeceras cantonales o municipios según la División Político Administrativa (DPA) vigente en el país, sin tomar en cuenta su tamaño. Mientras que la zona rural comprende el resto del área municipal fuera del núcleo o límite urbano, donde se encuentran las cabeceras parroquiales, la población dispersa, y otros centros poblados que se sitúan dentro de los límites administrativos municipales (SIISE, n.d.).

1.2.1. Ubicación

La zona urbana del Cantón Cuenca, se ubica en la región centro sur del Ecuador, entre las coordenadas 2°30' - 3°10' de latitud sur y 78°51' a 79°40' de longitud oeste. Pertenece a la región Sierra, provincia del Azuay. La variación altitudinal de su territorio administrativo cantonal varía entre 20 a 4560 msnm, mientras que su capital, la ciudad de Cuenca (zona

urbana) tiene una cota media de 2550 msnm. Limita al norte con la Provincia del Cañar, y al oeste con la Provincia del Guayas. Dentro de la Provincia del Azuay, limita al sur con los Cantones Camilo Ponce Enríquez, San Fernando, Santa Isabel y Girón, y hacia el este con los Cantones Paute, Gualaceo y Sigsig como se puede observar en la Figura 1 (GAD Municipal de Cuenca, 2015a).

El Cantón Cuenca tiene una extensión de 3665.33 km², de los cuales 73.01 km² (2%) corresponde a la zona urbana, y 3592,31 km² (98%) pertenece a la zona rural. El área que ocupa la ciudad de Cuenca está definida por el límite urbano establecido en la ordenanza vigente, cuya última actualización fue en el 2003. Según la DPA, Cuenca se compone por 15 parroquias urbanas y 21 parroquias rurales (Figura 2) (GAD Municipal de Cuenca, 2014).



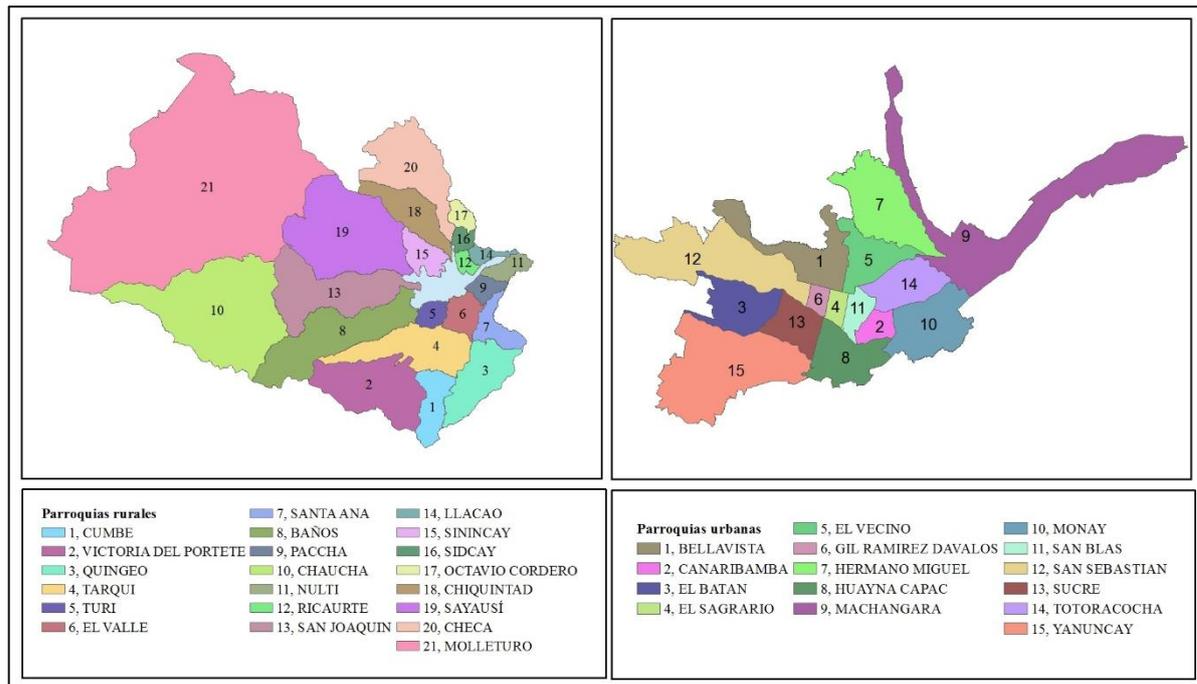


Figura 2: División Política Administrativa del cantón Cuenca

Fuente: INEC, 2012. Elaboración: El Autor

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Describir a la ciudad de Cuenca bajo el enfoque del Metabolismo Urbano, utilizando la contabilización de flujos de materiales y energía.

1.3.2. Objetivos específicos

- Recopilar y analizar los datos de flujos de entrada y salida del área urbana en el periodo disponible.
- Construir indicadores per-cápita de los flujos de entrada y salida.
- Identificar la información no disponible o faltante para analizar los principales flujos metabólicos de la ciudad.
- Establecer propuestas para reducir la intensidad de los flujos metabólicos.

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. Crecimiento urbano

El intensivo uso de los recursos fósiles, la revolución industrial y los avances en la ciencia han sido algunos de los factores detonantes para el rápido crecimiento poblacional y económico durante el siglo 20 (Pincetl et al., 2012). Desde entonces, este aumento demográfico se ha mantenido hasta convertirse en una fuerte tendencia global (Pincetl, 2012). En 1950 el 30% de la población mundial vivía en espacios urbanos, en la actualidad este porcentaje ha aumentado al 54%. Se espera que para el año 2050 la población urbana aumente 2.5 billones, llegando a un 66% de la población total. Este rápido crecimiento causa importantes modificaciones tanto en el tamaño de las ciudades y la distribución espacial de la población (ONU, 2014).

Los reportes de la ONU (2014) muestran el desbalance del urbanismo que se ha venido dando en la última década. En el 2007 por primera vez la población urbana excedió la población rural. Desde ese entonces la población urbana ha ido creciendo constantemente, mientras que la población rural tiende a decrecer ligeramente (Figura 3).

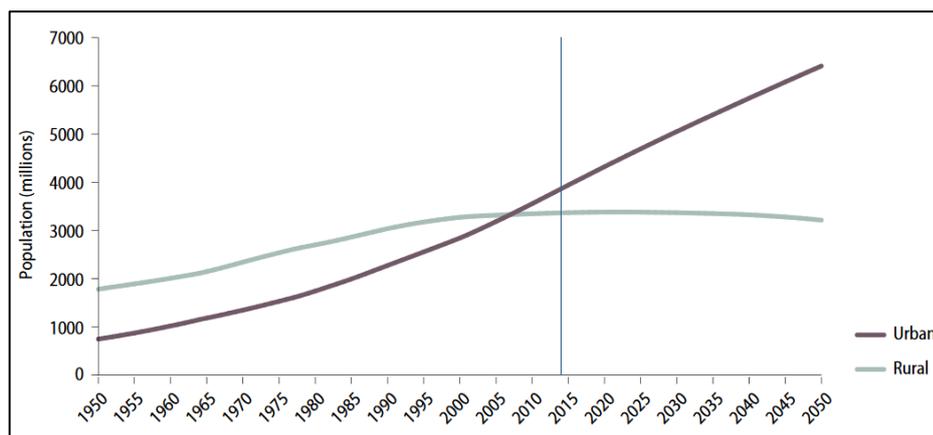


Figura 3: Población mundial rural y urbana, 1950-2050
Fuente: (ONU, 2014) World Urbanization Prospects

Además, las tasas de crecimiento urbano en algunas regiones del mundo son más altas que en otras. Por ejemplo, África y Asia son los continentes que presentan mayor crecimiento urbano en el mundo, seguido de América Latina y El Caribe. Entre el 2010 y 2015, el

promedio de la tasa anual de crecimiento urbano fue del 3.55% en África, 2.50% en Asia y 1.45% América Latina y El Caribe. Mientras que Europa y Norte América presentan las tasas más bajas de crecimiento urbano, 0.33% y 1.04%, respectivamente (UN-HABITAT, 2016).

Las ciudades no solo crecen en población, sino también en número (Brunner, 2007). En 1970 habían solo 8 megaciudades con más de 10 millones de habitantes, en 1980 aumentaron a 9 y en 2010 se tenía 27 (Kennedy et al., 2014). Actualmente una de cada ocho personas vive en esas 27 megaciudades (ONU, 2014). Estos grandes centros urbanos también presentan un rápido crecimiento en la demanda de energía y materiales. Una de las principales razones de esta demanda es la construcción de infraestructura urbana (edificios, residencias, redes viales, infraestructura para potabilización y tratamiento de aguas, entre otras) donde se almacena la mayor cantidad de materiales (Paul H. Brunner, 2007), así como de la mejora en la calidad de vida de los habitantes. De toda la energía requerida gran parte es destinada al transporte urbano (Rueda, 1999) particularmente para transporte en vehículo privado.

2.1.1. Crecimiento Urbano en Ecuador

El Ecuador es un país con una población aproximada a 15 millones de habitantes según el Censo Nacional de Población y Vivienda (CNPV) de 2010. Representa el 0.2% de la población mundial y 2% de la población de América Latina (Byron Villacís & Carrillo, 2011). El crecimiento poblacional en Ecuador durante el periodo intercensal 2001-2010 fue de 1.9%. Sin embargo, la tasa de crecimiento demográfico del último periodo intercensal (promedio anual) es menor a la tasa que se presentaron en los anteriores periodos. No obstante, el crecimiento demográfico es relativamente alto. Como se puede observar en la Figura 4, la población total en el Ecuador se ha incrementado en un 352% entre 1950 y 2010.

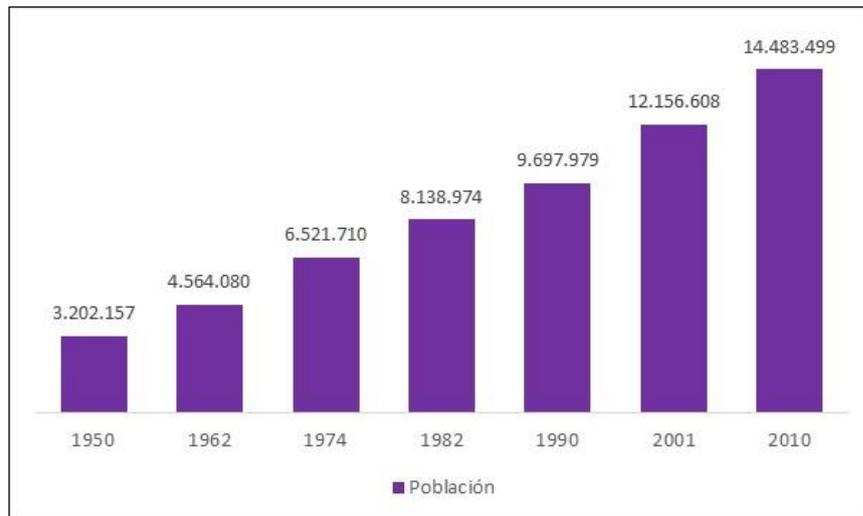


Figura 4: Crecimiento demográfico del Ecuador
Fuente: (SENPLADES, 2014)

De acuerdo al estudio de la SENPLADES (2014) en el Ecuador, siete de cada 10 personas residen en zonas urbanas y 3 en localidades rurales. Entre el 2001 y 2010 el porcentaje de la población urbana creció de 66.3% a 70.5%, porcentaje muy cercano al de América Latina (78%), ya que esta región es una de las más urbanizadas a nivel mundial (Delgado, 2013). En 1950 los espacios urbanos del país tan solo albergaban el 28% de la población total (BID, 2014). Por otra parte, la distribución de la población según el tamaño de los centros urbanos también se ven afectados por el crecimiento demográfico. Los centros poblados con menos de 2500 habitantes disminuyeron, mientras que las urbes de 50.000 a 500.000 habitantes incrementaron. Siendo Guayaquil y Quito los únicos centros poblados con más de 500.000 habitantes (SENPLADES, 2014).

2.1.2. Crecimiento urbano en Cuenca

Según el CNPV 2010 el cantón Cuenca tiene de 505,585 habitantes. La zona urbana del cantón alberga el 65.6% de la población, mientras que las zonas rurales se contabilizan 173,697 habitantes. En 1984 la población urbana superó la población rural, desde ese entonces el registro de habitantes en el área urbana ha incrementado constantemente como indica la Figura 5. El periodo donde se registró el mayor crecimiento de la población en la

zona urbana fue entre 1990-2001, con una tasa promedio anual de 4.0%. Mientras que el último periodo intercensal (2001-2010) registró una tasa del 1.9% (BID, 2014).

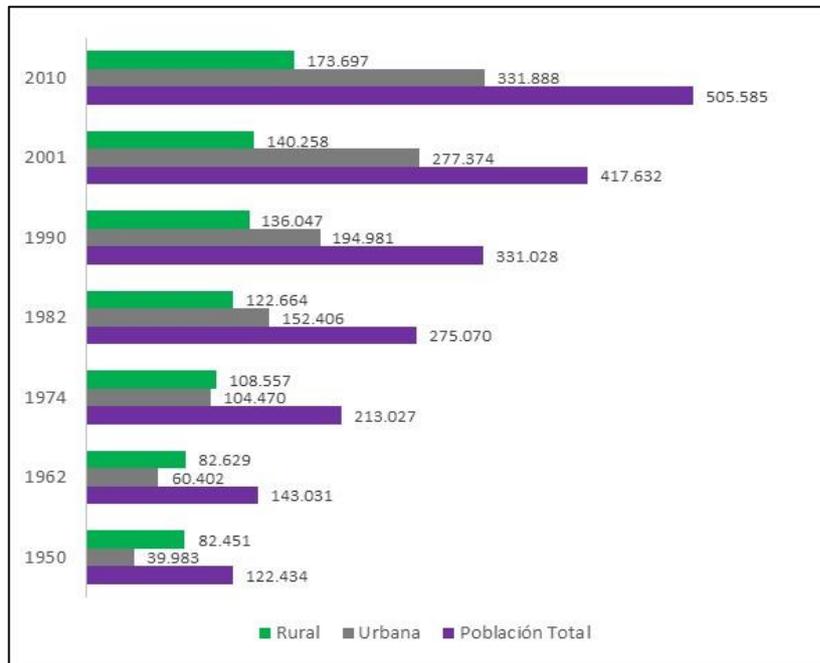


Figura 5: Crecimiento demográfico cantón Cuenca
Fuente: (GAD Municipal de Cuenca, 2015a)

Las proyecciones reportadas en el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón Cuenca (PDOT) 2015, indican un crecimiento de 772,08 habitantes en el año 2030. Se espera que el 63.16 % la población resida en la Ciudad, porcentaje menor al actual, puesto que la tasa de crecimiento de la población rural es mayor que la del área urbana en el último periodo intercensal (GAD Municipal de Cuenca, 2015a).

2.2. El ecosistema urbano

Un ecosistema se conoce como el conjunto de seres bióticos (animales, plantas y microorganismo) y abióticos (suelo, agua y aire) que interactúan entre sí, conformado por varios subsistemas interconectados interdependientemente. Se caracteriza por ser un tipo de sistema dinámico y estructurado por comunidades bióticas que intercambian materia y energía con el ambiente abiótico. De esta manera el ecosistema natural mantiene un metabolismo

cíclico y autorregulado (Leal del Castillo, 2010). Bajo este concepto, la ecología ha considerado a las ciudades como ecosistemas urbanos, los cuales han sido continuamente modificados y controlados por el hombre (Golubiewski, 2012).

En un ecosistema urbano, el intercambio de materia y energía depende de la interacción entre factores sociales, económicos, políticos y ambientales (Lotfi & Daneshpour, 2016). La intensidad metabólica en este tipo de ecosistemas comparado con un medio natural es muy alta, por el hecho de que existen más consumidores que productores (Zhang, Yang, & Yu, 2006). Este desbalance provoca problemas en el entorno debido a que los recursos se explotan de una manera acelerada y los desechos se acumulan fácilmente, alterando así el ciclo natural (Newman, 1999; Pincetl, 2012). En un ecosistema urbano el consumo de recursos, principalmente de energía, está vinculado a la estructura vial, las tipologías edificatorias, el nivel de tecnología y el modelo de ciudad del cual dependa (Rueda, 1999).

2.3. Impacto ambiental por el crecimiento urbano

Uno de las principales causas del deterioro ambiental en todos sus componentes es el crecimiento urbano, pues estos espacios concentran el mayor consumo de materiales y energía a nivel global y ocupan apenas el 3% del planeta (Newman, 1999; Pincetl et al., 2012). El impacto físico que ocasionan las ciudades está vinculado con los ciclos biogeoquímicos globales y los procesos ecológicos (Pincetl, 2012). Newman (1999) agrega que se puede emplear mecanismos que permitan la reintegración de procesos naturales en los sistemas urbanos para incrementar la eficiencia en la utilización de los recursos naturales.

Las ciudades necesitan el acceso y disponibilidad permanente a los recursos y servicios ecosistémicos que brinda la naturaleza, tanto, dentro y fuera de sus límites administrativos (Pincetl et al., 2012). Cerca del 80% de los materiales extraídos a nivel global son atribuidos al consumo de las ciudades, muchos de estos en las zonas rurales (UNEP, 2012). Estos recursos (materiales) son transformados y elaborados en productos finales (consumo de

energía) que luego son utilizados en las distintas actividades socioeconómicas de la ciudad, permitiendo así, mantener y aumentar su organización. Tales actividades tanto de explotación y consumo ejercen presiones importantes sobre el medio ambiente que alteran la cantidad y calidad de los recursos naturales (Rueda, 1999).

Unos de los aspectos ambientales más relevantes de las concentraciones urbanas es la emisión de gases de efecto invernadero (GEI), se estima que las emisiones de GEI provenientes de las ciudades, representan aproximadamente el 70% de las emisiones a nivel global (UN-HABITAT, 2013). Esto debido a las diferentes actividades que se desarrollan en una ciudad, particularmente el transporte (Blečić et al., 2014), cuyas emisiones causan alrededor del 13% del total de los GEI, el 23% del dióxido de carbono global y el 80% de los contaminantes que afectan la salud pública (CO, SO₂, NO_x, HCs, entre otros). Los rellenos sanitarios también son una fuente importante de (GEI) en cuanto al gas metano, cuyo potencial de efecto invernadero es 26 veces mayor que el dióxido de carbono (UNEP, 2012).

2.4. Sustentabilidad urbana

La Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo (1987) define la sustentabilidad como “un proceso global de desarrollo que minimiza el consumo de recursos ambientales y reduce los impactos en el ambiente usando procesos que simultáneamente mejoran la economía y la calidad de vida” (Newman, 1999). Este concepto ha sido fundamental para el desarrollo de las sociedades modernas, ya que se han visto obligadas a tomar medidas urgentes con el fin de atenuar los impactos provocados por el rápido crecimiento demográfico, que posibiliten un desarrollo urbano sustentable.

Además, las urbes no solo tienen como desafío reducir el excesivo consumo de recursos y los impactos ambientales asociados, sino que también se enfrenta a eventos climáticos impredecibles provocados por el calentamiento global. Por esta razón, entre otras, la

planificación sustentable también debe emplear medidas de mitigación y adaptación a este fenómeno climático (Science for Environment Policy, 2015).

Antes de implementar cualquier mecanismo que permite de alguna manera el desarrollo sustentable de la ciudad, se debe tener muy claro la funcionalidad de esta. De acuerdo a Kennedy et al., (2012) el desarrollo urbano sustentable debe ser apoyado con el respectivo análisis de los flujos metabólicos urbanos tanto históricos como actuales. Hoy en día la mayoría de los estudios de MU tienen como objetivo evaluar el desarrollo sustentable de las ciudades, ya que el MU ofrece un modelo riguroso para analizar dicha temática (Yetano et al., 2014). El MU permite identificar que entradas en el sistema urbano son insostenibles entre los flujos de demanda, suministro y de contaminación (Pincetl et al., 2012). El conocimiento de los flujos de materiales y energía es un requisito para la formulación de políticas públicas que busquen un desarrollo urbano sustentable (Shahrokni et al., 2015).

2.5. Concepto de Metabolismo Urbano

El concepto de metabolismo urbano fue utilizado por Karl Marx en 1883, para describir el intercambio de materiales y energía entre la ciudad y el entorno natural, en un contexto político durante sus críticas hacia la industrialización (Zhang, 2013). Luego Wolman en 1965 aplicó el concepto de metabolismo urbano en su artículo "*The Metabolism of Cities*" en el cual, compara el metabolismo de la ciudad con el de un organismo vivo, argumentando que una ciudad consume recursos para mantener su dinámica y a la vez genera emisiones, efluentes y desechos. La diferencia con un organismo vivo está, que este consume alimentos para sustentar su desarrollo, y desecha lo que no necesita, mientras que las ciudades consumen incluso más de lo que necesitan y a la vez generan desechos que la naturaleza es incapaz de procesar. Bajo este contexto de metabolismo, Wolman cuantificó las entradas de recursos y salida de residuos de una ciudad hipotética de un millón de personas. En este estudio, se demostró problemas ambientales que generan las grandes ciudades

estadounidenses en cuanto a contaminación del agua, aire y suelo, y las implicaciones del uso intensivo de recursos para el sostenimiento futuro de la sociedad (Wolman, 1965).

Posteriormente, se realizaron algunos estudios de MU con diferentes enfoques y metodologías. Newman (1999) incluyó aspectos sociales (salud, educación, empleo) en el concepto del MU, además mencionó las diferentes aplicaciones que se podrían hacer para promover ciudades más sustentables. El concepto de MU comenzó a abarcar e integrar factores sociales y urbanísticos.

Recientemente Kennedy et al (2007) definió el MU como “la suma total de los procesos técnicos y socioeconómicos que ocurren en las ciudades, resultando en crecimiento, producción de energía y eliminación de residuos”. Por otro lado, Pincetl et al., (2012) sugiere expandir el método de MU hacia un análisis más comprensivo donde incluya los flujos de todos los materiales biofísicos, parámetros de energía, sistemas socioeconómicos y políticos. Es así que Pincetl, (2012) considera al metabolismo urbano como “un medio inicial para cuantificar la cantidad de entradas extraídas de la tierra para uso urbano, así como los impactos físicos de las ciudades en los ciclos biogeoquímicos globales y los procesos ecológicos”.

Shahrokni, (2015) propone el concepto de Metabolismo Urbano Inteligente (MUI). Este concepto promueve que se identifique y analice los flujos de materiales y energía en tiempo real, mediante datos temporales y espaciales de alta resolución. Las fuentes de información serían sensores y dispositivos de información tecnológica muy avanzada que facilitarían la gestión de la base de datos metabólica y que al mismo tiempo permita entender la dinámica real y continua de los flujos de materia y energía a escala urbana.

2.6. Métodos y modelos para medir el MU

Los primeros estudios de metabolismo urbano fueron desarrollados entorno a dos métodos: balance de masas y el método “*emergy*” de Odum. El primero se ha utilizado ampliamente en

la contabilización de los flujos de materia, regido al principio de que la materia no se destruye, solo se transforma. Mientras que el método de Odum mide los flujos metabólicos generados por la energía solar usada directa e indirectamente para transformar materia en productos o servicios. El método “*emergy*” se planteó como un estudio más completo de MU, intentando demostrar que el método Análisis de Flujos de Materiales y Energía (AFME) no consideraba algunos flujos metabólicos importantes. A diferencia del AFME el método “*emergy*” utiliza una medida estándar para todas las unidades de los flujos metabólicos, lo cual, teóricamente es posible pero en la práctica se dificulta mucho emplear unidades comunes para todos los procesos urbanos (Pincetl et al., 2012).

A pesar de sus limitaciones, el método de cuantificación ampliamente usado en el MU es el AFME que utiliza el balance de masas, en algunos casos este método se complementa con el análisis del ciclo de vida (ACV). La elección del mejor método para medir el metabolismo urbano es esencial para llegar a conocer y comprender de una manera íntegra, el funcionamiento de la ciudad (Sahely et al., 2003). Los criterios que se consideran para la elección del método, depende tanto de los objetivos y metas del estudio como de la preferencia del autor (Beloin-Saint-Pierre et al., 2016).

Por otro lado, los modelos para estudiar el metabolismo urbano que se utilizaron inicialmente estaban limitados a cuantificar las entradas y salidas. A medida que avanzaron estos estudios, los investigadores han ido integrado el análisis de los aspectos metabólicos (producción, consumo y circulación de la materia y energía) con el objetivo de relacionarlos entre los componentes del sistema urbano (Zhang, 2013). También se ha ido incluyendo patrones sociales y urbanísticos tales como calidad urbana, estilo de vida, salud pública, accesibilidad vial, oportunidades de empleo, diseño urbano, entre otros (Minx et al., 2011). La Tabla 1, muestra las virtudes e inconvenientes de los principales métodos utilizados en el metabolismo urbano.

Tabla 1: Principales métodos para medir el metabolismo urbano

Método	Méritos	Inconvenientes
Análisis del flujo de materiales	Mide los flujos entrantes y salientes de los materiales de una ciudad, es una herramienta efectiva para la gestión de recursos naturales.	No toma en cuenta la importancia y calidad de diferentes materiales. Ignora los flujos energéticos, los cuales son cruciales para dirigir los flujos de materiales a través de los procesos metabólicos.
Emergy (Análisis del flujo de energía)	Este método garantiza que la energía que se destina a la creación y flujo de materiales sea considerada.	La transformación de energía debe ser definida para todos los flujos, y los métodos para contabilizar los residuos no han sido unificados.
Análisis de la huella ecológica	Combina las demandas del desarrollo socioeconómico con la capacidad de las reservas naturales permitiendo saber el déficit o superávit ecológico. Este método ayuda a interpretar la relación entre el capital natural y el desarrollo económico, también refleja situaciones ecológicamente insustentables.	El criterio para seleccionar el área de recursos ecológicos no han sido unificados, y el método se basa en una descripción incompleta de los recursos ofertados y eliminación de residuos por el sistema natural. De esta manera desestimando la magnitud de los impactos humanos.

Fuente: (Zhang, 2013) *Urban metabolism: A review of research methodologies*

Como una primera aproximación del Metabolismo Urbano de la ciudad de Cuenca este Proyecto considera la metodología de los flujos de materiales y energía, pues no sólo se busca determinar las entradas y salidas de la urbe, sino identificar qué información no está disponible para tener un entendimiento completo de los flujos de la ciudad.

2.6.1. Análisis de Flujo de Materiales y Energía

En los primeros estudios de metabolismo urbano, el análisis de flujos tanto de materiales y de energía se hacían por separado, en la actualidad este análisis se realiza de una manera complementaria para comprender de mejor manera los flujos metabólicos del sistema urbano. Este método permite hacer una estimación de la energía y materiales consumidos, almacenados y desechados ya sea en forma de residuos o pérdidas energéticas (Álvarez, 2014). Por décadas el comportamiento de estos flujos se ha reflejado en crecimiento económico, poblacional, y desde un punto de vista ambiental, en contaminación. Además, permite

entender una variedad de fenómenos socioeconómicos que suceden dentro de una región, ciudad o comunidad delimitada (Pincetl et al., 2012).

Según P.H. Brunner et al. (2004), el Análisis de Flujo de Materiales (AFM) es “un estudio sistemático de los flujos y stocks de materiales dentro de un sistema definido en tiempo y espacio”. Permite, enlazar las fuentes, las rutas y la disposición final de los materiales. Estos autores se basan en la ley de la conservación de la materia para argumentar que el resultado de un AFM puede ser obtenido por un balance de materia, relacionando todas las entradas, stocks y salidas de un proceso. Esto hace que el método de AFM sea considerado como una herramienta potencial para gestionar los recursos, residuos y el medio ambiente. Otra de las particularidades que tiene el AFM consiste en la identificación de las fuentes de recursos y las cargas ambientales en el sistema. Cabe recalcar que el AFM se complementa con el análisis de energía.

Es necesario definir los términos que se utilizan en un AFM para permitir una comprensión, reproducción y contabilización clara de los flujos y stocks de materiales dentro de un sistema, pues los términos que se aplican en un estudio de metabolismo urbano se pueden interpretar de diferente manera, ocasionando confusiones en cuanto a la identificación de los flujos metabólicos dentro del sistema urbano. Estos términos son los siguientes (Brunner et al., 2004):

- El término “material” es comprendido como toda sustancia o material que tiene un valor económico asignado por el mercado. Dentro de este conjunto de materiales existen algunos que tienen valor positivo (vehículos, combustible, madera) y otros con valor negativo (residuos municipales, aguas servidas). Dentro de este concepto también se ha considerado los bienes inmateriales tales como la energía eléctrica, servicios e información.

- Un proceso consiste en el transporte, transformación o almacenamiento de materiales. Este término es común en todo sistema, por lo que no necesita de una explicación o modificación en el contexto de metabolismo urbano.
- Stocks se define como la materia que ha entrado al sistema y está almacenada temporalmente o permanentemente dentro del sistema analizado. Los stocks pueden incrementarse, agotarse o mantenerse en el tiempo. Este flujo generalmente se contabiliza mediante la diferencia de los flujos de entrada y salida en un tiempo determinado.
- Los flujos metabólicos representa la cantidad de material que ha entrado o salido del sistema en un periodo determinado. Los flujos que han ingresado al sistema se conocen como entradas y los flujos que han salido del sistema se conoce como salidas (Figura 6).

Un sistema comprende una serie de flujos de materiales, stocks y procesos dentro de un límite espacial y temporal (Figura 6). En el AFM el sistema puede comprender una región, ciudad, país, una industria, una farmacia, una residencia, etc. Este sistema tiene que estar definido en tiempo y espacio. El tiempo elegido debe tener un análisis previo en cuanto a la disponibilidad de datos, el periodo adecuado para el balance, el tiempo de almacenamiento o permanencia de los materiales y el objetivo del estudio. Por otro lado la definición del espacio en el sistema pueden ser los límites políticos o geográficos de una región.

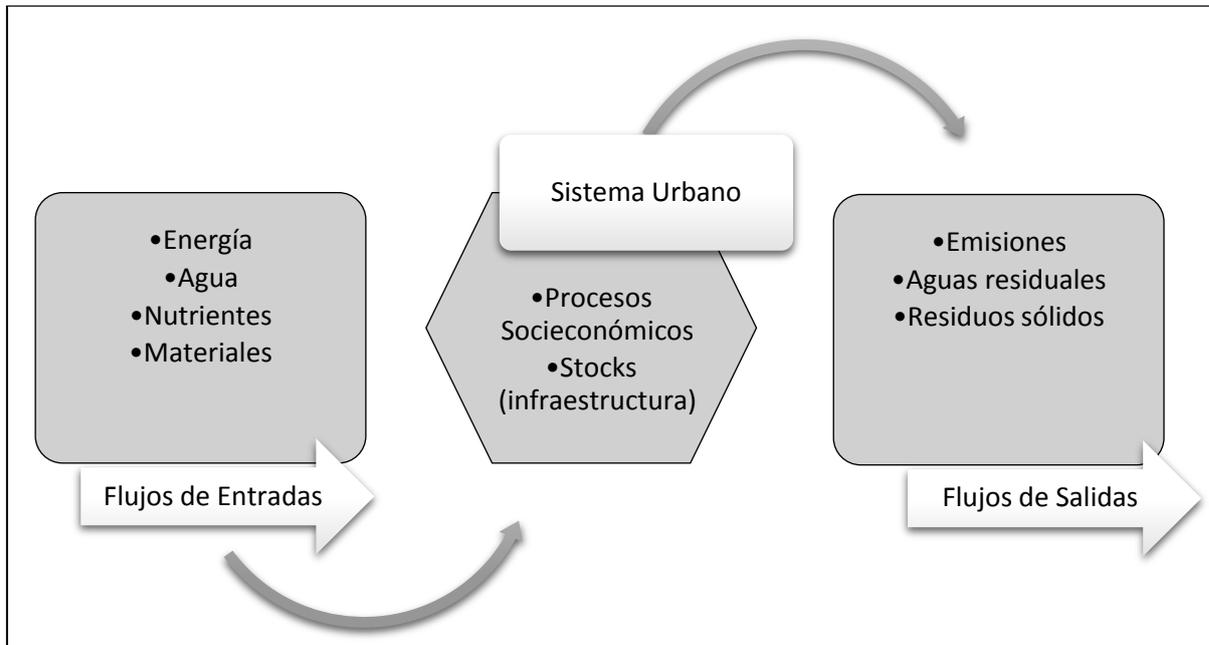


Figura 6: Principales flujos de entrada y salida en el sistema urbano
Fuente: (Alfonso & Pardo, 2014)

Esta metodología ha sido aplicada en distintas ciudades para evaluar su metabolismo tales como Bruselas, Tokio, Hong Kong, Sydney, Toronto, Viena, Londres, Shanghai, Beijing, Nueva York, etc (Álvarez, 2014). Incluso, ha sido una herramienta de aplicación obligatoria para la gestión de residuos en el estado federal Renania del Norte-Westfalia, Alemania (P.H. Brunner & Rechberger, 2004).

2.7. Estudios de Metabolismo Urbano

A partir del trabajo de Wolman (1965) varios estudios de metabolismo urbano se han empleado en distintas ciudades alrededor del planeta. Sin embargo, durante 1965 hasta 1990 fueron pocos los estudios que emplearon el concepto de MU. Luego de 1990 las investigaciones sobre el metabolismo de las ciudades incrementó considerablemente (Kennedy et al., 2011). Actualmente se han reportado alrededor de 150 estudios de MU en más de 60 ciudades, la mayor cantidad de estos se han llevado a cabo en el continente Asiático con 65 estudios en más de 10 ciudades diferentes, mientras que en Europa se ha estudiado el mayor número de ciudades, alrededor de 28 (Beloin-Saint-Pierre et al., 2016).

Latinoamérica y África han sido las regiones menos estudiadas en cuanto al metabolismo de sus ciudades. En la revisión sobre el cambio del metabolismo en ciudades alrededor del mundo que realiza Kennedy et al., (2007) no menciona ciudades de Latinoamérica. No obstante, Hoornweg et al., (2012) examinaron el MU de 7 ciudades a nivel global, de las cuales Sao Paulo, Río de Janeiro y Buenos Aires, fueron parte de este estudio, siendo uno de los primeros análisis de metabolismo urbano que se aplicaron en Latinoamérica.

En Ecuador no existen estudios de MU específicos a nivel de ciudades, pero si se ha estudiado a nivel Nacional algunos flujos metabólicos o consumo de recursos. En el 2006 y 2010 Vallejo estudió el uso de Recursos con un enfoque al metabolismo social de Ecuador (Alfonso & Pardo, 2014). Por otro lado, también se han estudiado flujos metabólicos particulares en ciudades como Quito y Cuenca. Davis et al (2016) aplicó el modelo de MU para estudiar el potencial energético de los flujos de residuos orgánicos urbanos en la ciudad de Quito. En la ciudad de Cuenca, Malo (2015) analizó el metabolismo del agua como parte del metabolismo social en la ciudad. Por otro lado, Barragán et al (2016, 2017) analizó la integración de energías renovables para el fomento del metabolismo energético circular.

2.8. Flujos Metabólicos Analizados y Resultados Obtenidos

El estudio de MU de Abel Wolman utilizó tres flujos de entrada (agua, alimentos y combustibles fósiles) y tres flujos de salida (aguas residuales, residuos sólidos y emisiones atmosféricas), considerando que estos parámetros eran los más representativos en las grandes ciudades estadounidenses. Wolman utilizó indicadores per-cápita de los parámetros mencionados, para evaluar el metabolismo de una ciudad hipotética de un millón de personas (Wolman, 1965). En 1978, Newcombe et al, realizaron uno de los primeros acercamientos del MU en Hong Kong. El objetivo de este estudio fue estimar los recursos energéticos y materiales que se necesitarían en el 2000, cuyas proyecciones preveían un consumo energético 5 veces mayor al registrado en 1973 (Kennedy et al., 2007). Posteriormente

Warren-Rhodes et al (2001), efectuaron un nuevo estudio en la ciudad de Hong Kong. En este caso analizaron los consumos per-capitas de alimentos, agua y materiales, entre 1971 a 1997, estableciendo un incremento del 20%, 40% y 149% respectivamente. Asimismo las emisiones de gases contaminantes, generación de aguas residuales y de residuos sólidos creció 30%, 153% y 245% respectivamente.

En Australia, Newman (1999) analizó los datos del reporte ambiental de 1997 para demostrar el incremento en los valores per-cápita en la ciudad de Sydney, considerando el consumo de agua, energía, alimentos, producción de residuos, producción de aguas residuales y emisiones atmosféricas durante un periodo de 20 años; (1970 - 1990). Lennox et al (2004) contabilizaron los flujos de energía y materiales en tres ciudades de australianas; Brisbane, Coffs Harbour y Shepparton. En este caso se determinó la evolución sustentable en cuanto a la reutilización del agua, energías renovables y generación de residuos urbanos.

En Norte América Sahely et al (2003) comparó el metabolismo de distintas poblaciones en el área metropolitana de Toronto, notando un claro crecimiento en los flujos de entrada y salida, sin embargo estos incrementos fueron bajando en comparación con la tasa de crecimiento poblacional. Ngo et al (2008) estudiaron el metabolismo del condado de Los Angeles, USA, en respuesta a la discusión que se mantenía en la época sobre la densidad y distribución demográfica y el impacto ambiental. En este estudio, encontraron que a excepción de las importaciones de alimentos y la generación de aguas residuales, el resto de flujos metabólicos estudiados habían disminuido, basándose en datos per-cápita durante 1990 al 2000. Probablemente, estos resultados se debían a cambios políticos, mejora en la tecnología e infraestructura pública y el impacto sobre la creciente densidad poblacional en los flujos metabólicos.

En Latinoamérica, Guerrero et al (2008) calculó la huella ecológica utilizando el modelo del MU en la ciudad de Tandil, Argentina. Durante el periodo de un año (2001) contabilizaron

los flujos de entrada (consumo de alimentos, madera y papel) y salida (producción de CO₂ y residuos sólidos urbanos). De esta manera determinaron que para soportar la presión de los flujos metabólicos en el año de estudio se necesitaría 17.2 veces la superficie actual. En Bogotá, Colombia, Alfonso et al., (2014) estudiaron los flujos de materiales y energía en dos periodos (1980-2010) y determinaron que el consumo de energía, materiales y emisiones de contaminantes había incrementado, excepto las emisiones de material particulado, las cuales decrecieron considerablemente. Conke et al (2015) midieron los cambios ocurridos en el uso de materiales y energía en Curitiba, Brasil, entre el año 2000 y 2010. Argumentaron que el incremento del consumo de energía, materiales de construcción y cantidad de residuos reciclados se debía al mejoramiento en las condiciones de vida y socioeconómicas de la ciudad.

También se han hecho revisiones sobre el metabolismo de varias ciudades alrededor del planeta, estudiando los flujos metabólicos en común de las ciudades. Kennedy et al (2007), analizó el cambio del metabolismo en 8 regiones metropolitanas durante periodos variados desde 1965, comparando los flujos de agua, materiales, energía y nutrientes. Este estudio demuestra el incremento del metabolismo en la mayoría de las ciudades, mientras que otras ciudades incrementaron la eficiencia en el uso de estos flujos. El mismo autor realiza una revisión más actualizada en el 2015. En este estudio cuantifica y analiza los flujos de materiales y energía de 27 megaciudades. Además, considera factores urbanísticos que influyen en la intensidad de los flujos metabólicos (Kennedy et al., 2015)

Por otro lado algunos autores han optado estudiar el metabolismo de un flujo en particular, por inconvenientes que se presentan a la hora de estudiar el MU completo de una ciudad. Esto ha permitido una comprensión más detallada del flujo estudiado. García et al (2014) analizaron el flujo de agua en el Área metropolitana Centro Occidente, Colombia. D'Alisa et al (2012) estudiaron el metabolismo de los residuos sólidos urbanos en Campania, Italia.

Tseng et al (2015) utilizaron el modelo el modelo de MU para contabilizar los residuos orgánicos producidos en Taipéi , China. Zhang et al (2014) evaluaron el ciclo del carbón por medio del MU en Beijing. Cui et al (2015) estudiaron el metabolismo del fosforo en Luoyáng, China.

Asimismo, el sistema de análisis de flujos de materiales y energía no siempre es una ciudad, región o país, también puede ser una industria, una residencia o bien cualquier actividad que influya en los flujos metabólicos urbanos. Por ejemplo, Oliver-Sola et al (2007) midieron el metabolismo del Parque Montjuic de Barcelona, España, con el objetivo de determinar el impacto ambiental global que causa el consumo de energía en el Parque. Yang et al (2012) compararon el metabolismo de dos sectores urbanos diferentes en la ciudad de Xiamen, Republica de China.

En las siguientes tablas se resumen los principales flujos metabólicos comunes que se han servido como base para estudiar el metabolismo de las ciudades utilizando la metodología del Análisis de Flujo de Materiales y Energía (AFME). La Tabla 2 presenta indicadores de entrada y la Tabla 3 muestra los indicadores de salida.

Tabla 2: Principales flujos de entrada utilizados en AFME

Ciudad o Región	Materiales	Energía	Alimentos	Agua	Referencia
Ciudad Hipotética	No aplica	Carbón, petróleo, GN, carburantes ****	Consumo total de alimentos ****	Consumo total de agua potable ****	(Wolman, 1965)
Hong Kong	Materiales de construcción, Madera, Vidrio, Acero, Productos de consumo final **	GLP, Electricidad, Combustibles sólidos ++	Cereales, frutas, vegetales, mariscos, carnes, productos lácteos ***	Doméstico, comercial, industrial, agrícola ††	(Warren-Rhodes & Koenig, 2001)
Toronto	No aplica	Gasolina (†), diésel (†) electricidad (+++)	Cereales, frutas, vegetales, mariscos, carnes, productos lácteos ***	Total de consumo de agua potable †	(Sahely et al., 2003)
Los	No aplica	Petróleo, carbón,	Cereales, frutas,	Precipitación,	(Ngo &

Ángeles		energía geotérmica, solar y eólica, GN, biomasa, electricidad, radiación solar neta ++	vegetales, mariscos, carnes, productos lácteos ****	consumo doméstico, riego, ganadería, industrial, minería †	Pataki, 2008)
Bogotá	Materiales de construcción (cemento empacado) ****	Electricidad, GN, derivados del petróleo, carbón +	Cereales, frutas vegetales, productos cárnicos y lácteos, aceites y grasas *	Consumo doméstico, industrial, comercial ††	(Alfonso & Pardo, 2014)
Curitiba	Materiales de construcción (cemento empacado, acero, arena, grava). **	Electricidad, GN, combustibles fósiles, carbón (mineral y vegetal), biomasa. ++++	Consumo total de alimentos **	Consumo total de agua potable ††	(Conke & Ferreira, 2015)

Nota: los flujos de materiales, energía y alimentos se ha descrito por tipo, mientras que en el flujo de agua se ha descrito por sector de consumo. Todos los estudios emplean el valor total y el valor per cápita de los flujos analizados. A continuación se indica los valores per-cápita que se utilizan en los ejemplos:

* gr/cap/día + TJ/cap/año † m³/cap/año
** kg/cap/día ++ MJ/cap/año †† lt/cap/día
*** kg/cap/año +++ GWh/cap/año
**** ton/cap/año ++++ kWh/cap/año

Elaboración: El Autor

Tabla 3: Principales flujos de salida utilizados en AFME

Ciudad o Región	Residuos	Emisiones	Aguas residuales	Referencia
Ciudad Hipotética	No aplica	Contaminantes criterio (MP, CO, NO _x , SO ₂ , HC) ****	Total de aguas residuales ****	(Wolman, 1965)
Hong Kong	Residuos sólidos municipales, residuos de construcción, demolición y especiales **	Contaminantes criterio (MP ₁₀ , CO, NO _x , SO ₂ , VOCs), Gases de efecto invernadero (CO ₂)	Total de aguas residuales domésticas descargadas (DBO ₅ , SST) †	(Warren-Rhodes & Koenig, 2001)
Toronto	Residuos sólidos residenciales e industriales ****	Contaminantes criterio, CO ₂ (toneladas/año)	Total de aguas residuales descargadas (DBO ₅ , SS)	(Sahely et al., 2003)
Los	Residuos sólidos	Gases de efecto	Total de aguas	(Ngo & Pataki,

Ángeles	residenciales, agrícolas, construcción, forestales, industriales, comerciales (toneladas)	invernadero (CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O, CFCs)	residuales descargadas (DBO5, SS) †	2008)
Bogotá	Residuos sólidos orgánicos, inorgánicos, hospitalarios, residuos reciclados **	Contaminantes criterio (MP ₁₀ , CO, NO _x , SO ₂), **** Gases de efecto invernadero (t-CO _{2eq})	Aguas residuales domésticas, industriales. †	(Alfonso & Pardo, 2014)
Curitiba	Residuos sólidos domésticos, reciclables, hospitalarios, peligrosos y agrícolas ***	Contaminantes criterio (MPS, Smoke, MP ₁₀ , SO ₂ , NO ₂), Gases de efecto invernadero (t-CO _{2eq})	Total de aguas residuales tratadas ††	(Conke & Ferreira, 2015)
**	kg/cap/día	†	m ³ /cap/año	
***	kg/cap/año	††	lt/cap/día	
****	ton/cap/año			

Elaboración: El Autor

2.9. Aplicaciones del Metabolismo Urbano

El metabolismo urbano es una herramienta que ha sido fundamental para estudios en varias disciplinas, específicamente para economistas y políticos, ambos con una perspectiva ecológica (Rapoport, 2011). Probablemente la falta de conocimientos para desarrollar el urbanismo ecológico hizo del MU una herramienta vital para entender el funcionamiento del sistema urbano y así gestionar adecuadamente los componentes metabólicos de una ciudad, lo cual permite minimizar la degradación ambiental y en consecuencia tener una ciudad más sustentable. De manera que Kennedy et al (2011) categoriza las aplicaciones del metabolismo urbano en 4 campos:

-Indicadores de sustentabilidad: Para conocer el grado sustentabilidad de las ciudades se basa en varios indicadores, tales como: eficiencia energética, ciclos de la materia, gestión de

residuos e infraestructura en el sistema urbano. Todos estos indicadores son medidos en el metabolismo urbano.

-Contabilización de emisiones GEI: Las grandes ciudades emiten grandes cantidades de gases de efecto invernadero, esto reduce la calidad de vida en las ciudades por lo cual reducir estas emisiones se vuelve un objetivo primordial en las urbes. El metabolismo urbano contabiliza las emisiones producto de la combustión (Dióxido de carbono, metano, y otros de efecto invernadero), incluso emisiones que se producen de otros procesos metabólicos que no pertenecen al sistema urbano.

-Modelos matemáticos para análisis en políticas: Las mediciones que realiza el metabolismo urbano son útiles para desarrollar modelos matemáticos basados esencialmente en el análisis del flujo de materiales y de este modo poder simular los cambios metabólicos de ciertos componentes del sistema urbano. Es de mucha importancia saber, cómo funciona, y cómo funcionará la ciudad para poder hacer políticas públicas que encaminen al desarrollo urbanístico de una manera sustentable.

-Diseño urbano: El metabolismo urbano se ha convertido una herramienta nueva en el diseño urbano. El diseño de nuevas infraestructuras de aguas servidas para reutilizarlas, sistemas de transporte eficiente, energía alternativa, etc. Son resultado del mejoramiento de los flujos de materiales y energía en el diseño urbano.

2.10. Limitaciones del Metabolismo Urbano

Varios autores afirman que es imposible concebir un análisis completo del metabolismo de una ciudad. Pues, establecer vínculos entre los flujos metabólicos, las respectivas fuentes, permanencia de los flujos en el sistema urbano y la disposición final de residuos, es altamente complejo. Asimismo es muy difícil identificar y evaluar el impacto ambiental generado por los flujos metabólicos de un material o sustancia en particular a través de una cadena de suministro en un ecosistema complejo y dinámico (Minx et al., 2011).

Un estudio de MU involucra varias fuentes de información a diferentes escalas (local, nacional, regional), a pesar de que pueden ser identificadas, a menudo es difícil obtener información que provenga de instituciones privadas, incluso de instituciones públicas, cuyas políticas de privacidad hacen imposible conseguir dicha información (Pincetl, 2012). Por otro lado, la falta de datos a escala urbana es también una limitante, ya que un estudio comprensivo de MU requiere de extensas bases de datos de gran detalle (Kennedy et al., 2014). Además la falta de datos muchas veces no permite realizar un diagnóstico temporal, en el cual se correlacione la dinámica demográfica, actividades socioeconómicas y situación espacial, por falta de seguridad en los datos obtenidos (Pincetl et al., 2012).

Shahrokni et al., (2015) menciona cuatro obstáculos más comunes que se presentan en un estudio de MU:

- Falta de datos a escala urbana
- El gran número de fuentes que se necesitan para estudiar el MU
- Limitados estudios sobre la evolución del metabolismo urbano en una ciudad
- Dificultad en la identificación de las relaciones causa y efecto

3. DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA DE ESTUDIO

En este Capítulo, se describirán algunos aspectos importantes del cantón Cuenca que permitirán describir a la ciudad bajo el marco del MU. Los aspectos descritos son los especificados en otros estudios (Alfonso et al., 2014; Conke et al., 2015; Malo, 2015; Sahely et al., 2003), donde se analizan aspectos poblacionales, económicos, geográficos y climatológicos. Además se realiza un breve diagnóstico de algunos flujos metabólicos a nivel cantonal como el consumo de agua, energía, producción de aguas residuales, emisiones y residuos sólidos.

3.1. Aspectos poblacionales

Según el Censo de Población y Vivienda (CNPV) del año 2010, Cuenca se ubicó como el tercer cantón más poblado del Ecuador con 505,585 habitantes, representando el 3.49% de la población Nacional y el 71% a nivel provincial, Azuay. El 65% de la población cuencana es urbana y 35% rural. La parroquias rurales El Valle, Ricaurte y Baños son las parroquias rurales más pobladas, mientras que Chaucha, Checa y Victoria del Portete las menos pobladas del cantón (Tabla 4) (INEC, 2011b).

En cuanto a la distribución de género, las mujeres predominan en todas la parroquias del cantón, excepto en la parroquia Molleturo. Igualmente a nivel urbano la mayoría de mujeres es notoria contabilizándose 173,523 mujeres (52%) y 158,565 hombres (48%). Estos porcentajes se mantienen similares en las principales ciudades del Ecuador como Quito (48.4), Guayaquil (49.2), Ambato (48.3), Machala (48.8), entre otras (INEC, 2011b).

Tabla 4: Población a nivel parroquial del cantón Cuenca

Parroquia	Población total			
	Hombres	Mujeres	Total	Total %
Cuenca (zona urbana)	158,365	173,523	331,888	65.64%
Baños	7,868	8,983	16,851	3.33%
Cumbe	2,480	3,066	5,546	1.10%

Chaucha	617	680	1,297	0.26%
Checa	1,182	1,559	2,741	0.54%
Chiquintad	2,251	2,575	4,826	0.95%
Llacao	2,487	2,855	5,342	1.06%
Molleturo	3,681	3,485	7,166	1.42%
Nulti	2,107	2,217	4,324	0.86%
Octavio Cordero Palacios	983	1,288	2,271	0.45%
Paccha	2,961	3,506	6,467	1.28%
Quingeo	3,421	4,029	7,450	1.47%
Ricaurte	9,247	10,114	19,361	3.83%
San joaquin	3,522	3,933	7,455	1.47%
Santa ana	2,472	2,894	5,366	1.06%
Sayausi	3,943	4,449	8,392	1.66%
Sidcay	1,743	2,221	3,964	0.78%
Sinincay	7,277	8,582	15,859	3.14%
Tarqui	4,833	5,657	10,490	2.07%
Turi	4,177	4,787	8,964	1.77%
El Valle	11,489	12,825	24,314	4.81%
Victoria del Portete (irquis)	2,391	2,860	5,251	1.04%
Total	239,497	266,088	505,585	100.00%

Fuente: (INEC, 2011b)

3.2. Densidad poblacional

La densidad poblacional demuestra cómo están distribuidos los habitantes por unidad de superficie. En caso de que en esta unidad de superficie tome en cuenta sólo los espacios edificados residenciales, se denomina densidad poblacional neta, y si la unidad de superficie es total, se denomina densidad poblacional bruta (Bastidas & Medina, 2010). En este caso, se analiza la densidad poblacional bruta a nivel cantonal por parroquias y a nivel urbano por zonas censales.

En la Figura 7 se puede observar que la cabecera cantonal de Cuenca tiene la más alta densidad con aproximadamente 46 habitantes por hectárea (217 m^2 por habitante). Las parroquias rurales Ricaurte, El Valle, Turi, Sinincay y Sidcay presentan una alta densidad (entre 2000 a $714 \text{ m}^2/\text{hab}$) en comparación con las demás parroquias rurales, debido a que se sitúan en la periferia de la ciudad y han sido afectadas por el alto urbanismo de la misma. Las parroquias rurales restantes tienen poblaciones mucho más dispersas, la baja accesibilidad a

bienes y servicios básicos y públicos son algunos de los factores por las que la población rural es más baja si se compara con la urbana.

La densidad a nivel urbano demuestra que la mayor población se concentra en zonas céntricas de la ciudad de acuerdo al censo de población 2010, nivel zonal. Las parroquias urbanas; El Vecino, Gil Ramírez Dávalos, El Sagrario y parte de la parroquia Yanuncay contienen las zonas con mayor concentración demográfica en la ciudad de Cuenca (Figura 8).

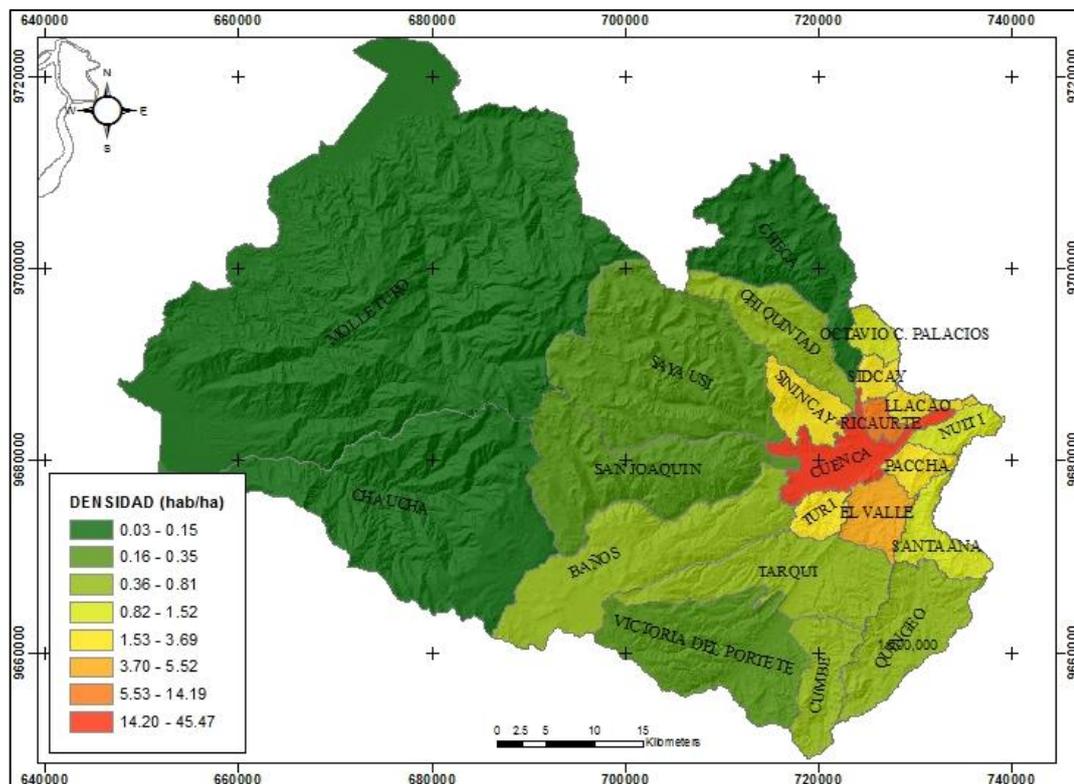


Figura 7: Densidad poblacional a nivel cantonal
Fuente: INEC, 2010. Elaboración: el Autor

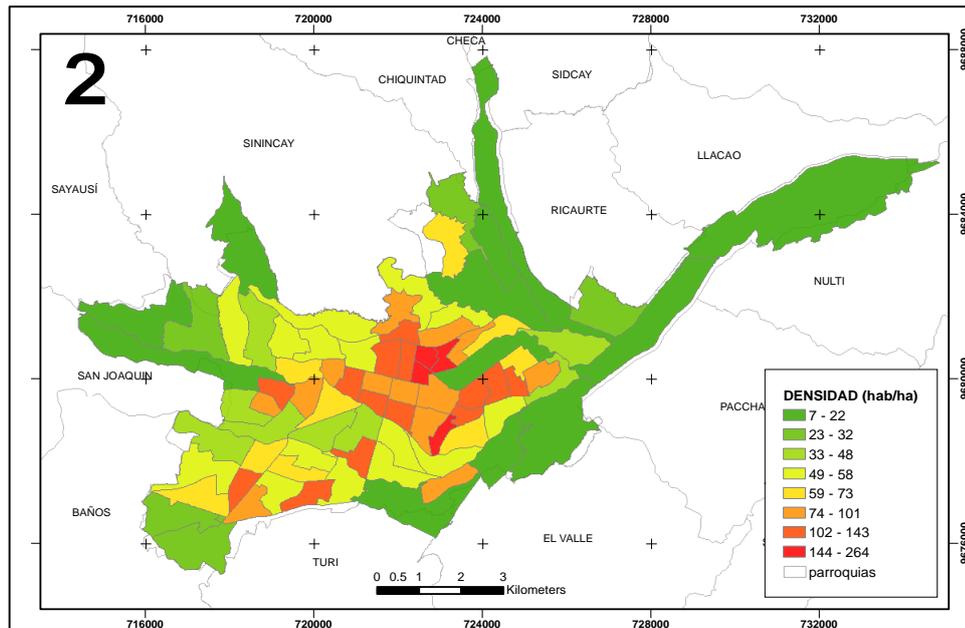


Figura 8: Densidad poblacional urbana
Fuente: INEC, 2010. Elaboración: el Autor

A pesar de que la ciudad de Cuenca es una de las más pobladas en el Ecuador, su densidad demográfica es baja si se compara con otras ciudades de América Latina que tienen poblaciones similares (Tabla 5). La baja densidad ha sido consecuencia de la falta de normativa y limitado control del suelo urbano. Además, la escasez de espacios urbanizables en la ciudad hacen que su precio se eleve y sean poco accesibles. En el año 2012 se reportaron 767 ha de terrenos totalmente urbanizables que no presentan proyectos inmobiliarios. Por estas razones, la huella urbana ha desbordado hacia las parroquias rurales lo que provoca un crecimiento urbano disperso y de baja densificación (BID, 2014).

Tabla 5: Densidad poblacional bruta de ciudades de América Latina

País	Ciudad	Población urbana	Densidad Poblacional (hab/ha)
Colombia	Pasto	343,939	142
Honduras	Tegucigalpa	1,332,000	91
Bolivia	Cochabamba	516,683	82
El Salvador	Santa Ana	265,518	65
Brasil	Joao Pessoa	720,954	62
Chile	Valdivia	138,970	56
Ecuador	Cuenca	331,888	45

Fuente: (BID, 2014). Elaboración: El Autor

3.3. Distribución de la población por sexo y edad

La pirámide de población es un aspecto fundamental en el análisis demográfico, pues, proporciona información importante sobre la dependencia, equilibrio o desequilibrio entre sexos. Además, permite evidenciar algún evento importante que haya ocurrido en la historia poblacional tales como epidemias, catástrofes, migración, etc (Villacís et al., 2012).

La pirámide de la población urbana de Cuenca representa un modelo de base ancha y una cima angosta, este modelo indica una alta natalidad como también una alta mortalidad (Figura 9). Este tipo de pirámides es típico en poblaciones con un alto crecimiento demográfico. El rango de edad más representativo es la población de 20 a 24 años, ampliando este rango la población más representativa esta entre los 10 a 30 años, lo cual indica que la población urbana de Cuenca es mayoritariamente joven. Esta estructura poblacional es muy similar en las ciudades del país como Quito, Guayaquil, Ambato y Machala (INEC, 2011b).

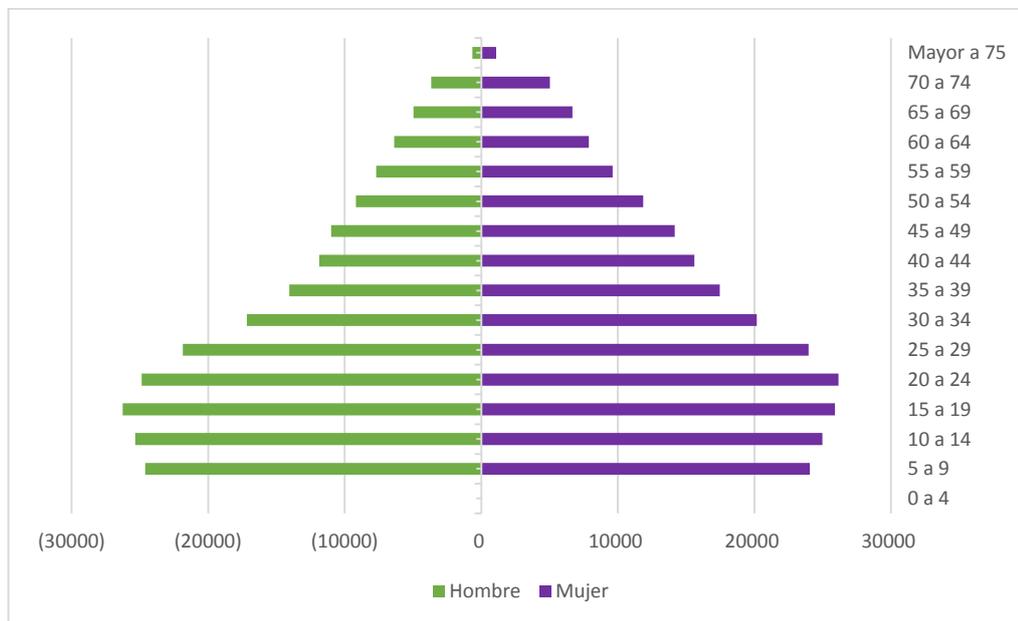


Figura 9: Pirámide de la Población Urbana de Cuenca 2010
Fuente: (INEC, 2011b). Elaboración: El autor

3.4. Población económicamente activa

Se considera Población Económicamente Activa (PEA) a las personas de 10 años y más que trabajaron al menos una hora durante el periodo de la medición en actividades con o sin remuneración, excepto personas que se dedican a actividades domésticas, estudiantes pensionistas, jubilados y personas que no estén disponibles de trabajar (SENPLADES, 2015). Existen dos formas de expresar la PEA, mediante la tasa bruta de participación laboral y la tasa global de participación laboral, la primera es la relación entre la PEA y la población total, y la segunda resulta de la relación entre la PEA y la población en edad de trabajar. Para este apartado se utilizara la tasa bruta de participación laboral.

En el 2010, Ecuador registró una tasa bruta de participación de 42.16%, las ciudades que registraron los mayores porcentajes de PEA fueron Quito, Ambato y Cuenca con el 49.53%, 49.11% y 48.11% respectivamente (INEC, 2011b). En la Tabla 6 se muestra la PEA de Cuenca. Las cifras demuestran que a pesar de que la zona urbana es el principal centro económico del cantón, incluso de la provincia, se registra un bajo porcentaje de PEA en comparación con la zona rural. Estas cifras se justifican debido a que en las zonas rurales la mayoría de las personas siempre están realizando algún tipo de actividad, particularmente actividades agrícolas, aunque no sean remuneradas. Este porcentaje semejante entre la zona urbana y rural también se presenta en otras ciudades importantes del país como Quito que tiene un 49.52% de PEA en la zona urbana y un 47% de PEA en el área rural. Ambato con 49.11% de PEA en la zona urbana y 48,42% en la zona rural (INEC, 2011b).

Tabla 6: Población económicamente activa (PEA) Cuenca

	Zona Urbana	Zona rural	Total
Población	329,928	175,657	505,585
PEA	158,749	72,579	231,328
PEA %	48.12	41.32	45.75

Fuente: (INEC, 2011b). **Elaboración:** El Autor

3.5. Aspectos económicos

En el año 2015 la provincia del Azuay aportó el 5.27% del Valor Agregado Bruto (VAB) no petrolero ubicándose como la cuarta provincia que mayor aportó a la actividad productiva del país, debajo de Guayas (26.85%), Pichincha (28.10%) y Manabí (5.71%) (BCE, 2015). El VAB es la diferencia entre la producción y el consumo intermedio de una región determinada, es decir el valor que se agregan a los bienes y servicios en las distintas etapas del proceso productivo. Si se compara con el Producto Interno Bruto (PIB), el VAB expresa lo mismo, con la diferencia que no considera los impuestos que se gravan en la cadena de producción (derechos arancelarios, impuesto al valor agregado, subsidios, entre otros) (De Gregorio, 2007).

El alto impacto económico de la provincia del Azuay se le atribuye principalmente al cantón Cuenca, aportando casi el 90% del VAB en la provincia, lo cual representa el 4.65% del VAB nacional. Cuenca ha experimentado últimamente un gran desarrollo industrial y comercial, como también ha conseguido incrementar la calidad y cobertura de servicios básicos a sus ciudadanos (F. Espinoza, 2012). Según la SENPLADES, considera a la ciudad de Cuenca como el eje de desarrollo económico de la región centro-sur del Ecuador (Zona de Planificación 6; Azuay, Cañar y Morona Santiago)¹. Además, el cantón concentra el 80% de los establecimientos económicos registrados en la provincia del Azuay hasta el año 2010 (INEC, 2011a).

De acuerdo a las estadísticas publicadas por BCE², las actividades económicas que mayor aportaron a la productividad del cantón en el 2015, expresado en VAB fueron: la actividad manufacturera (20.2%), construcción (16.8%), actividades profesionales e inmobiliarias

¹ El Ecuador está dividido en 9 zonas de planificación, cada zona está conformado por provincias de acuerdo a una proximidad geográfica, cultural y económica Desde este nivel se coordina estratégicamente las entidades del sector público, a través de la gestión de la planificación para el diseño de políticas en el área de su jurisdicción (SENPLADES, 2015).

² <https://www.bce.fin.ec/index.php/component/k2/item/763>

(14.4%), y el comercio (11.2%) (Tabla 7 y Figura 10). Tomando como referencia los últimos 8 años, las actividades económicas mencionadas que mayor incremento anual han tenido en su aporte al VAB son: el comercio y la construcción.

Por otra parte, analizando la tasa de crecimiento anual del VAB del cantón Cuenca respecto a la tasa del VAB no petrolero nacional en el periodo 2007 – 2015 (Figura 11), Cuenca presenta un comportamiento de altos y bajos, alcanzando la mayor tasa de crecimiento (17.45%) en el 2008 y la menor tasa (1.65%) en el 2015. La dinámica económica en el cantón Cuenca ha sido relativamente estable entre el 2009 hasta 2014 en comparación con la economía nacional, cuya tasa de variación del VAB ha presentado mayores crecimientos y decrecimientos durante el periodo referencial. Sin embargo, se puede apreciar una cierta influencia de la economía del cantón Cuenca sobre la economía Ecuatoriana (Figura 11).

Tabla 7: Valor Agregado Bruto (VAB) del cantón Cuenca

Actividad Económica	Miles de dólares	%
Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca	81,729	1.90
Explotación de minas y canteras	35,915	0.83
Manufactura	871,408	20.22
Suministro de electricidad y de agua	73,054	1.70
Construcción	725,226	16.83
Comercio	482,338	11.19
Actividades de alojamiento y de comidas	77,739	1.80
Transporte, información y comunicaciones	412,968	9.58
Actividades financieras	297,544	6.90
Actividades profesionales e inmobiliarias	618,326	14.35
Administración pública	188,917	4.38
Enseñanza	184,328	4.28
Salud	211,160	4.90
Otros servicios	48,574	1.13
TOTAL	4,309,226	100

Fuente: BCE 2015. **Elaboración:** El Autor

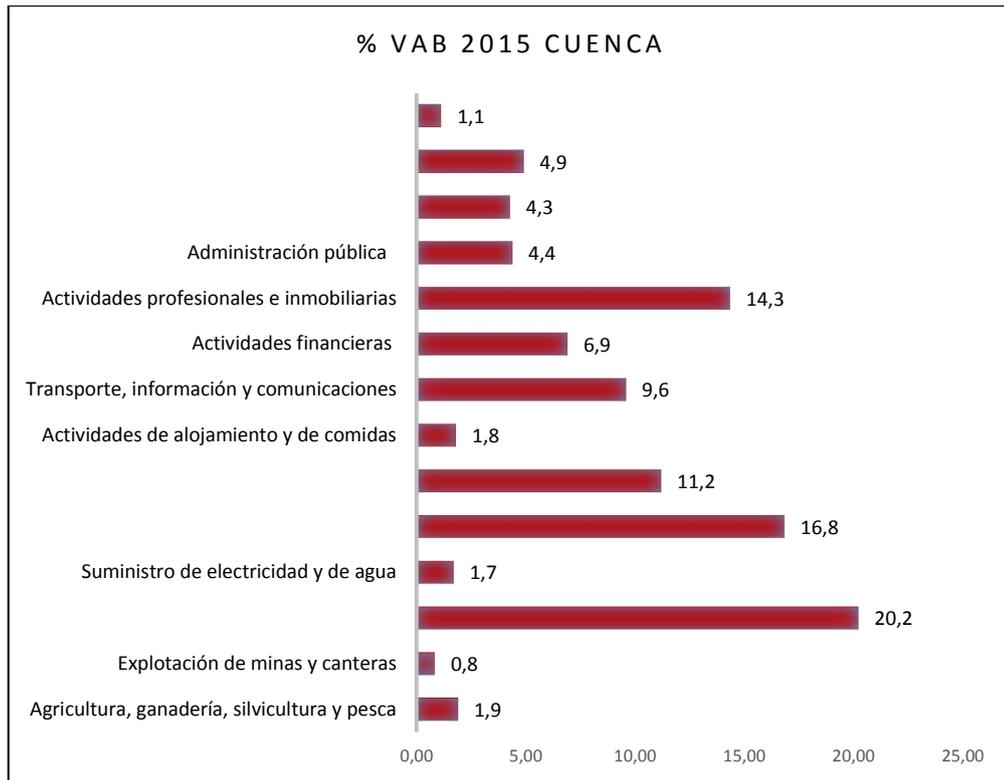


Figura 10: Valor Agregado Bruto (VAB) del cantón Cuenca
Fuente: (BCE, 2015). Elaboración: El Autor

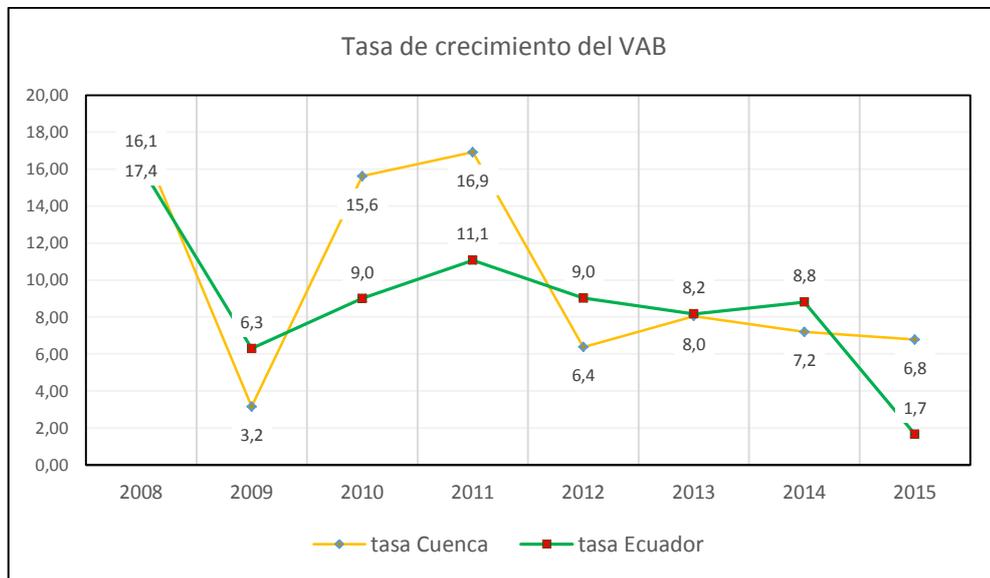


Figura 11: Tasa de crecimiento anual del VAB-cantón Cuenca y Ecuador
Fuente: (BCE, 2015)

3.5.1. Economía de Cuenca por sectores económicos

Las diferentes actividades económicas se pueden agrupar en tres sectores; sector primario representa todas las actividades que estén relacionadas con la explotación de recursos (agricultura, ganadería, pesca, silvicultura, minería, etc.); sector secundario está compuesto por las actividades que se dedican a la transformación de materias primas (provenientes del sector primario) en bienes productivos, también llamado sector industrial; y, el sector terciario conocido también como sector de comercio y servicio, representa las actividades de distribución de bienes y prestación de servicios (Rosenberg, 2017).

El sector primario en el cantón Cuenca se sustenta básicamente de la producción agrícola y ganadera. Posee una superficie agropecuaria de 123,422 hectáreas el 33.67% del territorio cantonal, de este porcentaje, 43% corresponde a mosaicos; 36% pastos; 15.65% producción agrícola, y 5% plantaciones forestales (GAD Municipal de Cuenca, 2015a). A pesar de la gran extensión de uso agropecuario, la productividad de este sector es muy baja con tan solo el 1.90% del VAB 2015. La mayoría de esta producción (principalmente hortalizas) es para el autoconsumo, y el excedente a la ciudad de Cuenca. Cabe destacar que el Cantón también abastece su demanda agrícola de otras regiones como Riobamba, Chimborazo, Cañar, Girón, Santa Isabel, entre otras (GAD Municipal de Cuenca, 2015a).

En cuanto a la actividad ganadera, las especies de animales que mayormente se crían a nivel cantonal son las aves de corral, cuyes, ganado bovino, ovejas y cerdos. Entre los animales menores la producción de cuyes es la más importante, gran parte de su producción se destina al mercado interno. Respecto a la producción de leche, se estima una producción diaria de 132,953 litros; 90% se vende a la industria láctea y el 10% para el autoconsumo (GAD Municipal de Cuenca, 2015a).

El sector secundario es el que mayor influencia económica tiene en el cantón Cuenca, con respecto al VAB, particularmente de la industria manufacturera. Los principales productos

que registran el mayor volumen de ventas por parte del sector industrial son los subproductos de alimentos y agroindustrias seguido por productos de línea blanca y neumáticos. Esta mercadería se exporta tanto a nivel nacional como internacional, lo cual resulta en un alto VAB para el cantón (GAD Municipal de Cuenca, 2015a).

Finalmente el sector terciario es el sector económico con el mayor porcentaje de la PEA (70.56%), ya que la rama de actividad económica con el mayor porcentaje de la PEA es el comercio al por mayor y menor. El comercio cuenta con 13,592 establecimientos económicos, entre los que se destaca la venta al por mayor y menor de alimentos, bebidas y tabaco en locales y mercados (BID, 2014).

3.6. Clima

El Atlas Geográfico de Ecuador divide al país en nueve climas, de los cuales seis están presentes en el cantón Cuenca; clima ecuatorial mesotérmico semihumedo, ecuatorial de alta montaña, tropical megatérmico semihumedo, tropical megatérmico húmedo, nival y tropical megatérmico seco. De acuerdo a la cartografía del Ministerio del Ambiente (MAE) el clima ecuatorial mesotermico semihumedo predomina con el 52% y el clima de alta montaña abarca el 34.4% de la superficie cantonal. El primero es típico en regiones interandinas, caracterizado por tener temperaturas irregulares entre 18 a 22 °C y con un promedio de 500 mm de precipitación anual. Mientras que el segundo clima con más ocupación en el cantón Cuenca se ubica en sobre los 3000 m de altitud, su temperatura fluctúa alrededor de los 8 °C y con una pluviometría anual comprendida entre los 1000 a 2000 mm según la altitud (GAD Municipal de Cuenca, 2015a).

En la ciudad de Cuenca el clima es templado con una temperatura media anual de 16.1 °C, la pluviosidad anual comprende entre 700 – 1100 mm y 75% de humedad relativa. Normalmente los meses más lluviosos están entre febrero a mayo y los meses más secos de junio a septiembre (EMOV EP, 2014). Estas condiciones meteorológicas han permitido que la ciudad requiera de energía para el calentamiento de agua caliente sanitaria. Aproximadamente el 100% de la

población calienta el agua para este fin, siendo el GLP la principal fuente de energía (64%), seguido de la electricidad (35%). Además, se ha estimado que un 2% de la población urbana de Cuenca utiliza calefacción en sus hogares (Quesada et al., 2016).

3.7. Uso y cobertura del suelo

La cobertura y uso de suelo hace referencia aquellos cuerpos naturales o artificiales que cubren la superficie de un territorio determinado. Estos pueden agruparse en tres clases generales: área natural, área intervenida y áreas urbanas. Esta clasificación se puede extender a varios tipos de cobertura de acuerdo a la información espacial disponible.

De acuerdo al MAE en el cantón Cuenca las áreas naturales (bosque, arbustos, páramo y vegetación nativa) ocupan el 60%; las áreas intervenidas (cultivos de toda clase en combinación con localidades) el 36%; y, las áreas urbanas (límite urbano y cabeceras parroquiales) el 2.45% (GAD Municipal de Cuenca, 2015a). Por otro lado, el PDOT del cantón, clasifica en 24 tipos diferentes la cobertura del suelo. Las mayores coberturas según esta clasificación corresponden al páramo de pajonal con el 24.14%, bosque natural con el 22.68% y arbustos con 11.99% que en total suman el 58.1% de la extensión cantonal (Figura 12 y Tabla 8).

Según el PDOT, actualización 2015, las áreas intervenidas por el hombre están creciendo, principalmente sobre el páramo y sobre áreas con pendientes elevadas hacia el oeste del Cantón. Estudios del MAE (2014), afirman que entre el año 2000 y 2013 la cobertura de la vegetación y recursos naturales ha disminuido considerablemente. La vegetación arbustiva y herbácea disminuyó 22% de su cobertura, asimismo las reservas de agua decrecieron 20%, mientras que zonas antrópicas (infraestructura, intervención y zonas agropecuarias) incrementaron un 23% (Pinos, 2015).

Las presiones ambientales cada vez son mayores en áreas naturales. Sin embargo, debido al extenso territorio se evidencia un gran potencial de conservación en la zona rural de Cuenca. La prestación de servicios ambientales por parte de las áreas naturales es importante para la población de Cuenca, particularmente en el recurso hídrico.

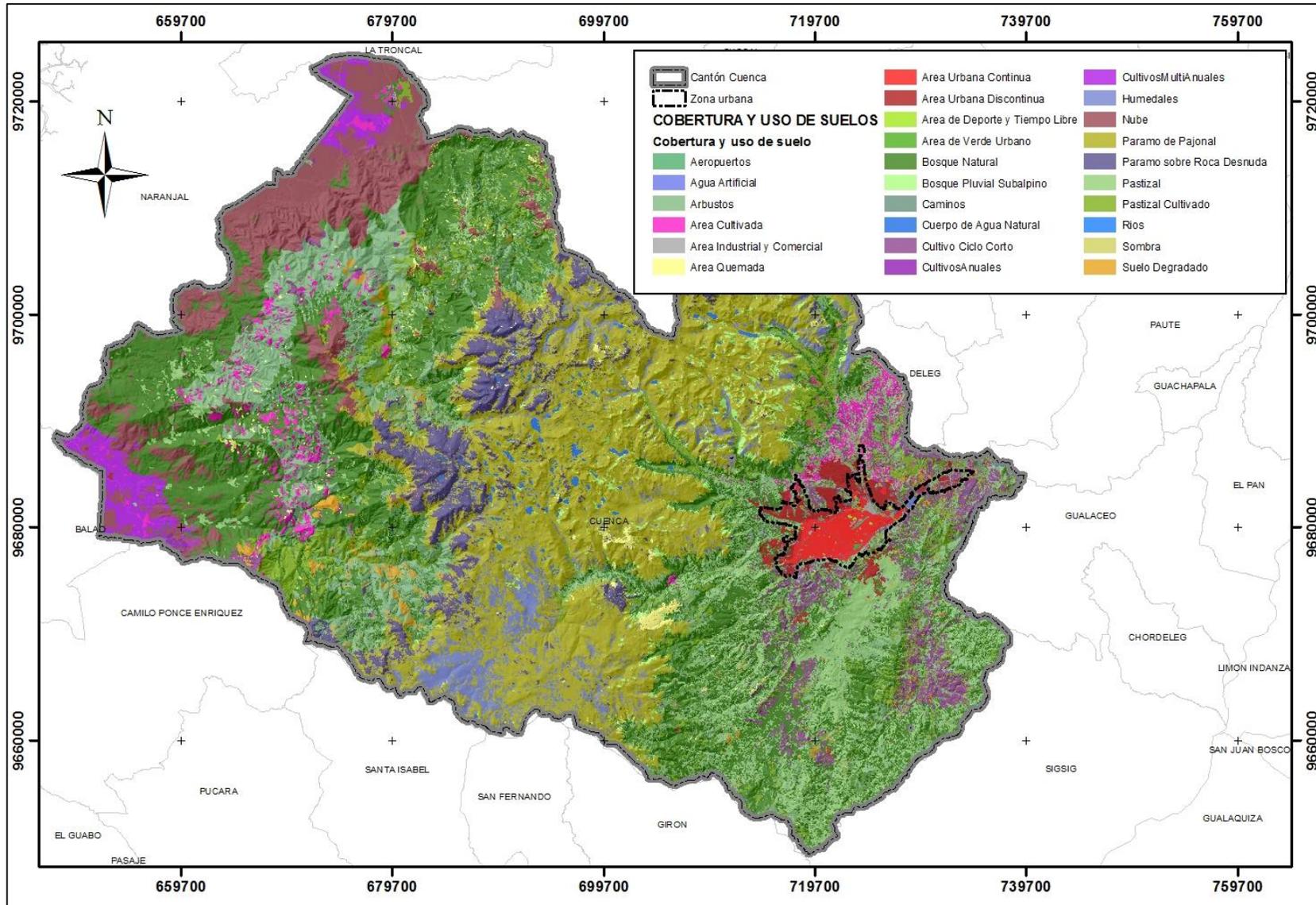


Figura 12: Uso y cobertura de suelo del cantón Cuenca
 Fuente: (PDOT, 2011). Elaboración: El Autor

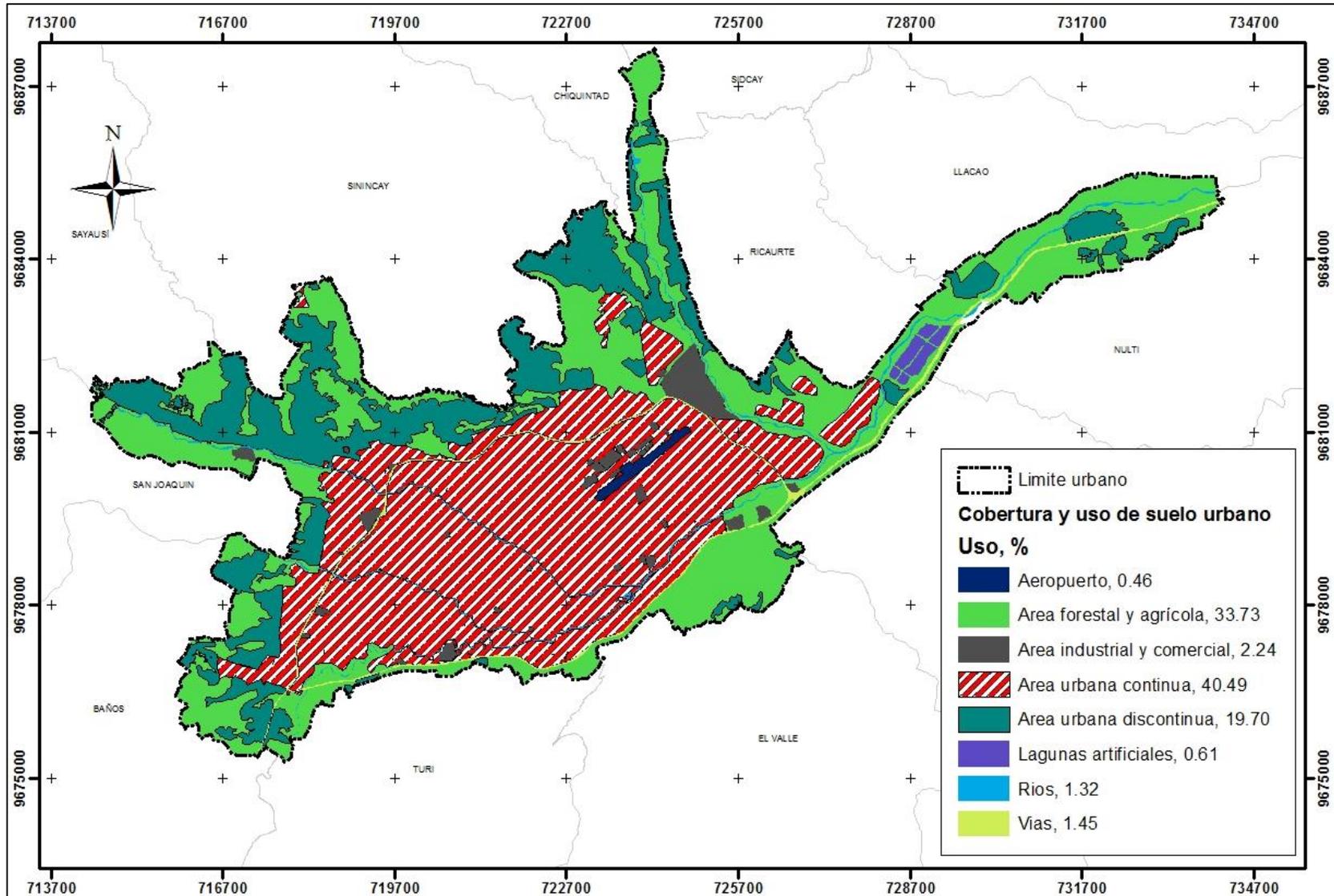


Figura 13: Uso y cobertura del suelo zona urbana de Cuenca
Fuente: (PDOT, 2011). Elaboración: El Autor

Tabla 8: Tipo de cobertura y uso de suelo cantón Cuenca

Tipo de cobertura y uso de suelo	Area (km2)	%
Aeropuertos	0.33	0.01
Agua Artificial	0.44	0.01
Arbustos	439.55	11.99
Área Cultivada	69.87	1.91
Área de Deporte y Tiempo Libre	0.52	0.01
Área de Verde Urbano	0.41	0.01
Área Industrial y Comercial	1.63	0.04
Área Quemada	23.02	0.63
Área Urbana Continua	29.00	0.79
Área Urbana Discontinua	38.59	1.05
Bosque Natural	831.13	22.68
Bosque Pluvial Subalpino	44.94	1.23
Caminos	9.44	0.26
Cuerpo de Agua Natural	19.96	0.54
Cultivo Ciclo Corto	119.88	3.27
Cultivos Anuales	2.17	0.06
Cultivos Multi-Anuales	65.23	1.78
Humedales	133.54	3.64
Sin información	266.85	7.28
Paramo de Pajonal	884.90	24.14
Paramo sobre Roca Desnuda	162.28	4.43
Pastizal	255.70	6.98
Pastizal Cultivado	226.63	6.18
Ríos	1.32	0.04
Sombra	3.95	0.11
Suelo Degradado	33.86	0.92
Total	3665.15	100

3.7.1. Cobertura y uso del suelo urbano

De acuerdo a la clasificación de cobertura y uso de suelo que realizó el PDOT del cantón Cuenca en el año 2011, hay 19 clases diferentes de cobertura y uso de suelo dentro del límite urbano. Aproximadamente el 65% de esta extensión pertenece a usos urbanos que abarcan las siguientes categorías: área urbana continua, área urbana discontinua, área verde urbana, área de deporte y tiempo libre, área industrial y comercial, aeropuertos y caminos. Mientras que el resto de la superficie urbana (35%) está parcialmente urbanizada donde predominan los

cultivos, bosque natural, arbustos, pastizales, lagunas artificiales, ríos, cuerpos de agua natural y artificial, páramo, etc. La Figura 13 muestra el mapa de uso del suelo urbano y su porcentaje resumido en ocho clases. Esta reclasificación se realizó con el propósito de agrupar en una sola categoría las áreas cultivadas, arbustos, bosques, pastizales y otras coberturas que representan menos del 0.5%. En total se consolidó 11 tipos de cobertura en la categoría de “Áreas forestales y agrícolas”.

Por otra parte el Plan de Ordenamiento Urbano de Cuenca (POUC), clasifica el uso del suelo urbano de acuerdo al Registro Municipal Obligatorio de Actividades (RMOA)-2012, en el cual se identifican aproximadamente 8,477 registros que corresponden a los usos urbanos diferentes al “Uso vivienda” que se detallan a continuación (GAD Municipal de Cuenca, 2014):

- Uso vivienda
- Uso Equipamientos: espacios o infraestructura de educación, bienestar social, cultural, religioso, recreación, organización social, seguridad pública, salud y transporte)
- Uso comercial: espacios o infraestructura que alberga actividades de venta y distribución de productos
- Producción de bienes: concentra las unidades de producción artesanal y manufacturera de bienes compatibles con la vivienda (zapaterías, sastrerías, joyerías, carpinterías, ebanisterías, etc.), las industrias de mediano impacto (fabricación de prendas de vestir, imprentas, fabricación de productos metálicos, de calzado, de productos minerales no metálicos, etc.) y las industrias de alto impacto (fabricación de resinas, envases, cartón, productos químicos, pinturas, barnices, lacas, etc.).

- Servicios generales: unidades que prestan servicios financieros, transporte, comunicaciones, turismo, alimentación, profesionales, industriales y de seguridad.
- Servicios personales y afines a la vivienda: unidades que prestan servicios de peluquería, gimnasio, estudios fotográficos, funerarias, lavanderías, internet, fax, telefonía, entre otros.
- Uso gestión y administración: establecimientos que funcionan para la administración pública nacional, regional, provincial, cantonal y parroquial.

El uso urbano predominante en la ciudad de Cuenca es sin duda la vivienda. Según el CNPV (2010), en la ciudad se contabilizaron 77,678 viviendas, de las cuales el 17% se concentran en el centro histórico. La densidad de la vivienda por hectárea es baja en gran parte de la ciudad, aproximadamente un 70% del suelo urbano presenta una densidad que fluctúa entre 0.5 – 30 viv/ha con excepción del centro histórico que posee una densidad media entre 30 – 60 viv/ha (GAD Municipal de Cuenca, 2014).

Con respecto al resto de categorías de uso, se destaca el uso comercial como el más representativo luego de la vivienda. En esta categoría se han identificado 4,392 unidades de uso, que significa el 51.8% si se compara con las categorías diferentes a la vivienda (Figura 14). El comercio abarca un amplio grupo de actividades que se encuentran emplazadas particularmente en el centro histórico (GAD Municipal de Cuenca, 2014).

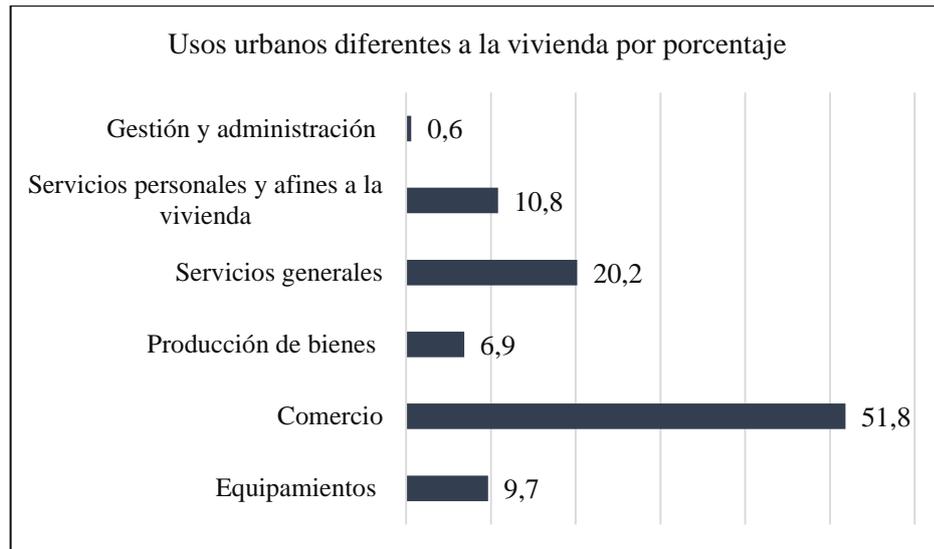


Figura 14: Usos de suelo urbano no residenciales
Fuente: (GAD Municipal de Cuenca, 2014)

3.7.2. Áreas verdes

En la ciudad de Cuenca las áreas verdes se han convertido en espacios estratégicos para albergar distintos componentes bióticos que ayudan a reducir el impacto físico de la infraestructura urbana. Las áreas verdes además de tener un valor paisajístico y recreativo en la ciudad, tienen gran importancia en la depuración del aire actuando como filtros naturales (Salbitano, et al., 2016).

El POUC considera áreas verdes “aquellas que presentan cierta vegetación y que están dispuestas para recreación, juego, deporte y que al mismo tiempo sirven para la distribución y estructura de la ciudad, sirviendo a objetivos tales como la higiene urbana, tránsito, vida social y cultural”. Bajo esta definición, la ciudad de Cuenca tiene un total de 12.50 ha de áreas verdes distribuidas en tres categorías; áreas verdes, área verde de parterres y márgenes de protección. La primera categoría, considera las áreas con vegetación que protegen el suelo y a la vez son utilizadas como equipamiento recreativo, sumando en total 58.80 ha (47%). La segunda categoría se encuentra distribuida a lo largo de los parterres de las principales avenidas de la ciudad, ocupando un área de 27.09 ha (21%). Por último, los márgenes de

protección se encuentran marginal a los ríos o quebradas y también alberga actividades de recreación, estas áreas abarcan un total de 40.61 ha (32%).

Considerando todos los espacios públicos que comprende plazas, plazoletas, parques y áreas verdes, sumarían en total 412 ha, cuya área representa el 5.64% del área urbana total. En resumidas cuentas la ciudad dispone de 34.2 hectáreas por cada 100,000 habitantes, un indicador sostenible según el Banco Internacional de Desarrollo (BID), pues de acuerdo con la metodología ICES desarrollada por el BID los valores que sobrepasen 10 ha por cada 100000 habitantes se consideran como sostenibles (GAD Municipal de Cuenca, 2014).

3.8. Áreas de bosque y vegetación protectora

Existen ocho Áreas de Bosque y Vegetación Protectora (ABVP) en el cantón Cuenca de las 169 que existen en el país. Estas áreas ocupan el 49.6 % de la extensión cantonal, todas ubicadas en la zona rural, al oeste de la ciudad, sin embargo si se suman la extensión del PNC y el área de Recreación Quimsacocha el porcentaje de áreas en conservación en el cantón subirían a 55.3 % (Figura 15). El PNC en el cantón Cuenca tiene una alta importancia debido a que alberga ecosistemas muy frágiles; el páramo herbáceo, lacustre y de almohadillas y más de 200 lagunas, además de brindar diferentes servicios ambientales (provisión de agua, captura de carbono atmosférico, control de erosión etc.) (Pinos, 2015). El principal beneficiario de estos servicios ambientales es la ciudad de Cuenca, particularmente el aprovechamiento del recurso hídrico. Agua

La hidrografía del Ecuador nace principalmente de la cordillera de los Andes, los ríos que nacen en las estribaciones occidentales desembocan sus aguas al Océano Pacífico y los ríos que nacen en las estribaciones orientales desembocan en el río Amazonas. El territorio

administrativo de Cuenca se ubica dentro de estas dos grandes vertientes, aproximadamente 140,000 ha en la vertiente pacífica, y 180,000 ha en la vertiente amazónica (Malo, 2015).

Dentro del territorio cantonal se han identificado 22 subcuencas hidrográficas, la red hídrica total se ha determinado en 5,508.29 km, con una longitud media de 1.05 km. Esto demuestra la abundancia de recurso hídrico en el cantón, y que es aprovechado principalmente por la ciudad de Cuenca (Bermeo, 2013).

La importancia en el abastecimiento del agua en el cantón se ha centrado en las subcuencas hidrográficas de los principales ríos que atraviesan la ciudad; los ríos Tomebanba, Yanuncay, Tarqui, Machangara y el río Cuenca (Figura 16). En estas unidades hidrográficas, la Empresa Pública Municipal de Telecomunicaciones, Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (ETAPA) ha llevado por años una gestión ambiental con el objetivo de conservar, proteger y recuperar los ecosistemas que generan los servicios ambientales, principalmente en la provisión de agua.

El río Tomebamba sin lugar a duda es uno de los más importantes de la ciudad de Cuenca, en lo que se refiere a captación de agua para potabilización. Este río es concesionado para alimentar la PTAP El Cebollar. Su caudal medio ha variado entre $3.25 \text{ m}^3/\text{s}$, a $8.75 \text{ m}^3/\text{s}$ para el periodo 1997-2012. Dentro del ciclo anual, registra los máximos caudales en los meses de marzo, abril, mayo y junio, mientras que los caudales más bajos se registran durante agosto, septiembre, octubre y enero. El estrés hídrico del río Tomebamba es muy severo en los meses secos, incluso se han reportado caudales de $0 \text{ m}^3/\text{s}$. Sin embargo, la abundancia durante los meses lluviosos registra caudales máximos hasta $101 \text{ m}^3/\text{s}$ (Malo, 2015).

El segundo río más importante es el Machangara, es la fuente de captación de agua para la PTAP Tixán. Los caudales medio registrados durante el periodo 2001-2012 varían de $2.25 \text{ m}^3/\text{s}$, a $6 \text{ m}^3/\text{s}$. Presenta un ciclo anual parecido al río Tomebamba, con los meses de mayor caudal que van desde abril a julio, y los meses secos que van desde septiembre a enero. Sin

embargo, la diferencia entre caudales mínimos y máximos es menos intensa como la del río Tomebamba. Finalmente los ríos Yanuncay y Tarqui; el primero con importancia en el abastecimiento de agua en parroquias rurales como San Joaquín y Baños, y el segundo de importancia agrícola y ganadera para parroquias rurales como Taquí y Victoria del Portete (Malo, 2015).

De acuerdo a los registros de la Secretaria Nacional del Agua (SENAGUA) los ríos que presentan las mayores presiones por parte de las concesiones de agua son los ríos Tarqui, Tomebamba y Machangara, los cuales mantienen un caudal inferior al caudal ecológico la gran mayoría del año, particularmente el río Tarqui. Mientras que el río Yanuncay es el menos afectado, en lo que se refiere al caudal ecológico (Malo, 2015).

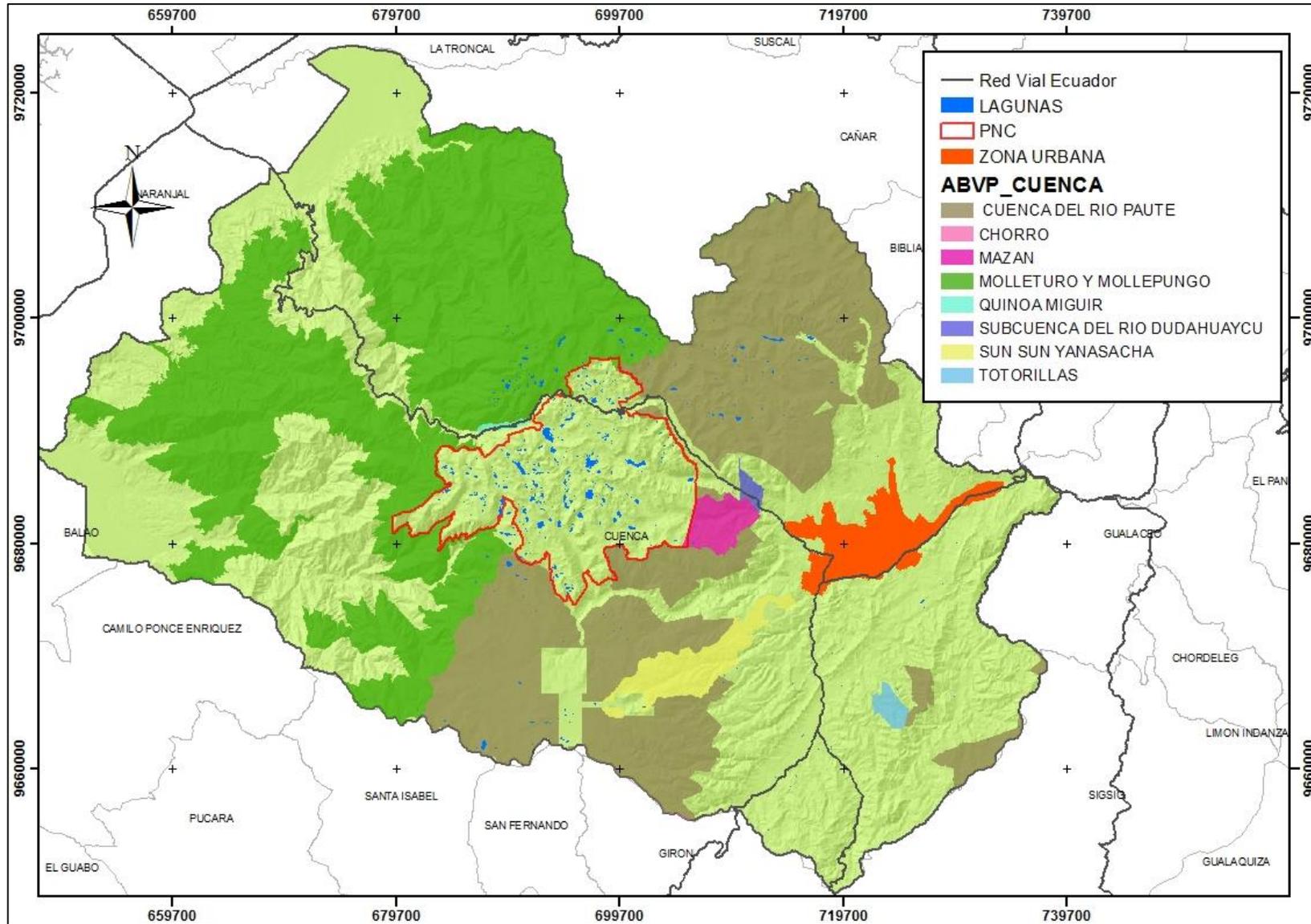


Figura 15 Áreas de bosques y vegetación protectora en el cantón Cuenca:
Fuente: MAE, 2013. INEC, 2012. Elaboración: El Autor

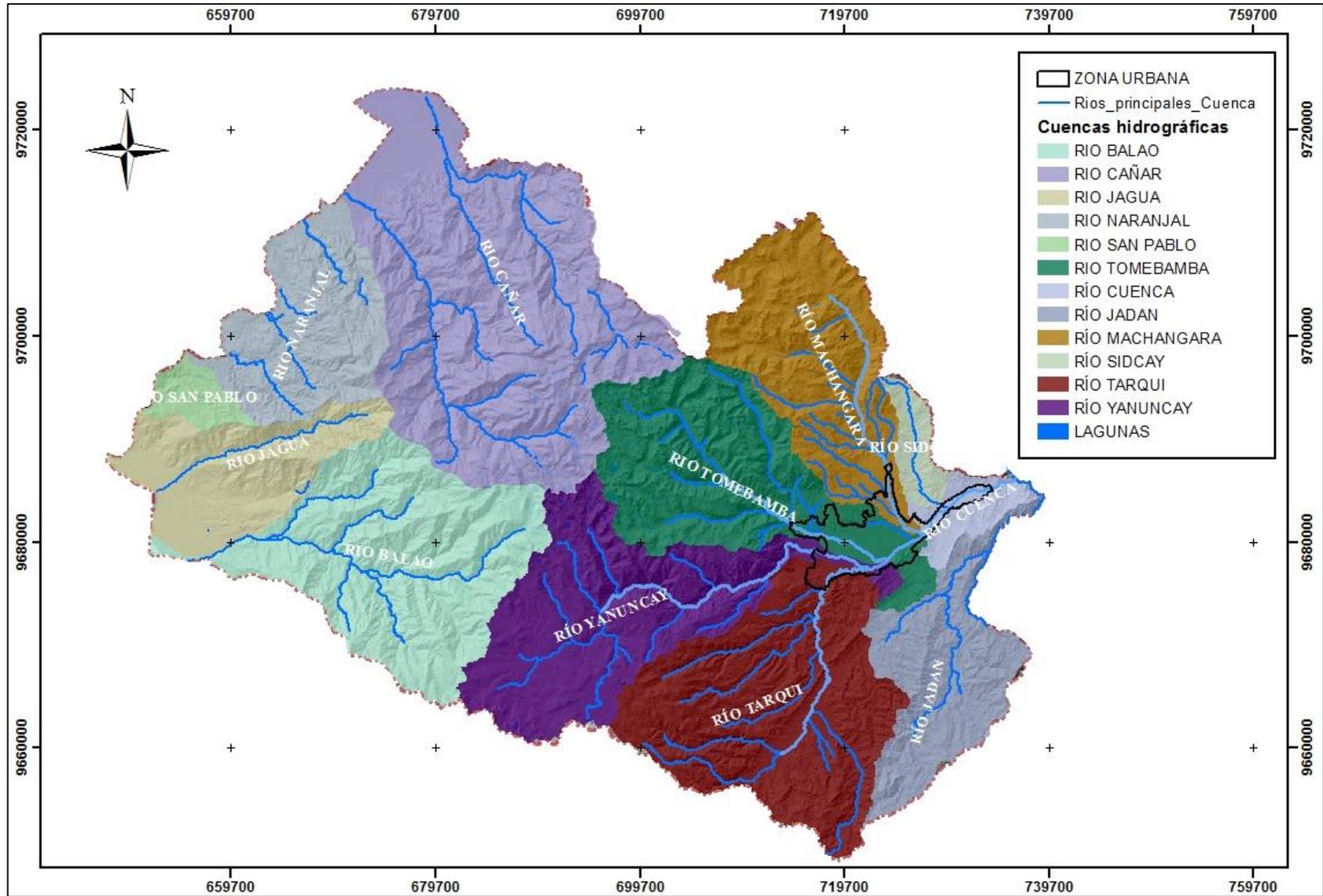


Figura 16: Hidrografía del cantón Cuenca
Fuente: IERSE. Cartografía base IGM, 2013. Elaboración: El Autor

3.8.1. Cobertura de agua potable

El 87% de la población del cantón Cuenca se abastece de agua mediante la red pública. El porcentaje de cobertura fue más alto considerando únicamente la zona urbana (96.5%). Las parroquias rurales circundantes a la zona urbana como El Valle, Checa, Baños, Turi y Ricaurte superan el 75% de cobertura con red pública, mientras que las parroquias alejadas de la ciudad como Molleturo, Quingeo y Victoria del Portete presentaron una cobertura menor al 50%. La principal fuente de agua en estas parroquias proviene de ríos y acequias (INEC, 2011b).

No obstante, el aumentando de la cobertura de agua potable ha sido notoria durante los últimos años. De acuerdo con información de la empresa ETAPA, hasta el año 2014 la cobertura de agua potable en la zona urbana alcanzó el 97.7% y en la zona rural 89.5%. ETAPA cuenta con 20 plantas de potabilización, de estos sistemas, tres cubren la demanda en la ciudad y un gran porcentaje de las parroquias rurales aledañas (El Cebollar, Tixán, y Soldados-Yanuncay) (GAD Municipal de Cuenca, 2015a). En la Figura 17 se puede evidenciar la cobertura de agua potable del cantón Cuenca, la zona urbana es abastecida casi en su totalidad por la planta El Cebollar y Tixán, mientras que el resto de PTAPs abastecen a las parroquias rurales contiguas a la ciudad. De estos sistemas de agua, los de mayor capacidad son; la planta El Cebollar con una capacidad de 1000 lt/s abasteciendo a aproximadamente 200,000 personas de la zona urbana, siendo el río Tomebamba la fuente principal de abastecimiento; la planta Tixán con una capacidad de 810 l/s, que abastece a la zona este de la ciudad y gran parte de las parroquias rurales continuas como Ricaurte, Nulti, El Valle y Paccha; y, la planta de Sustag (Yanuncay) con una capacidad de 400 l/s que provee de agua a las áreas rurales y urbanas de la zona oeste del cantón (Bermeo, 2013).

De acuerdo a las estimaciones realizadas por Malo (2015), en la zona rural se consume el 71.8% del consumo total de agua en el cantón Cuenca, mientras que la zona urbana consume

el 25.2%, y el resto se contabiliza como pérdidas (2.9%). La zona rural al ser un área dedicada principalmente a la agricultura y ganadería, utiliza gran parte del agua concesionada a estas actividades. Por esta razón, el consumo de agua es sumamente significativo en este sector. Este estudio también analizó el consumo de agua a nivel de hogares urbanos y rurales, sosteniendo que los hogares urbanos consumen alrededor de 207 lt/hab/día, mientras que los hogares rurales consumen aproximadamente el triple, 590 lt/hab/día. El volumen de agua total consumida considerada en este análisis, se refiere a los volúmenes de agua concesionados tanto por ETAPA y SENAGUA (Malo, 2015). En la Tabla se puede apreciar la evolución que ha tenido el consumo de agua por habitante desde el año 2007 hasta el 2015. Este consumo corresponde a la población beneficiada por la PTAP El Cebollar y Tixán (Figura 17).

Tabla 9: Evolución del consumo per cápita en la ciudad de Cuenca

Año	Consumo de agua (lt/hab/día)
2007	199
2008	190
2009	193
2010	191
2011	189
2012	190
2013	198
2014	197
2015	193

Fuente: ETAPA EP. **Elaboración:** El Autor

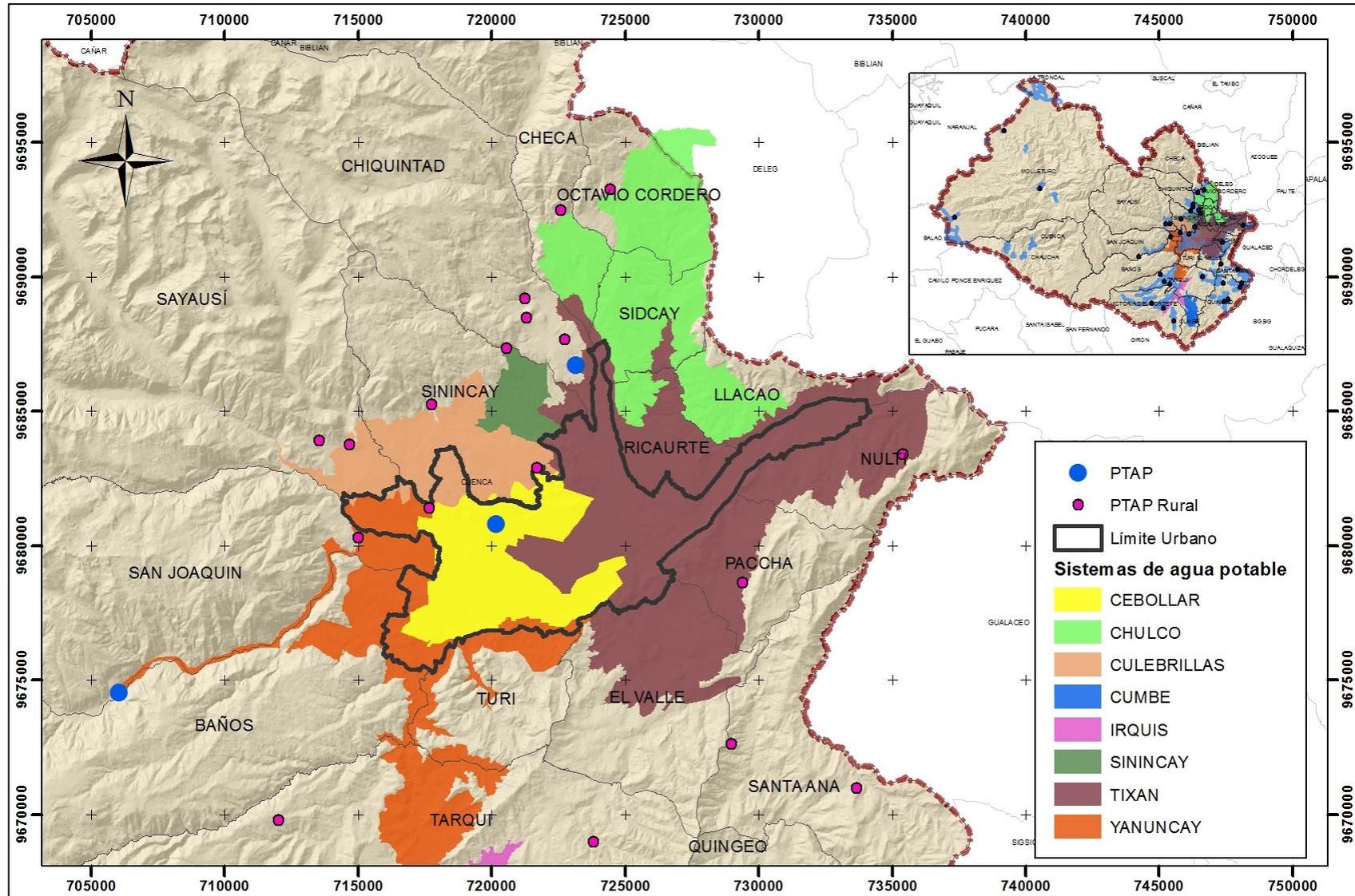


Figura 17: Cobertura de agua potable de Cuenca
 Fuente: PDOT, 2011. Elaboración: El Autor

3.9. Energía

La energía eléctrica distribuida al cantón Cuenca está a cargo de la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur (CENTROSUR), cuya alimentación proviene de centrales hidroeléctricas y termoeléctricas. Para el año 2012, el 32% de la energía eléctrica utilizada en Cuenca pertenecía a la generación hidroeléctrica, principalmente de las centrales Saucay y Saymirín. Actualmente la cobertura de energía eléctrica en el cantón alcanza un 99.6% en el área urbana y un 96% en la zona rural (BID, 2014).

El consumo promedio mensual de electricidad por vivienda en la zona urbana es de 288 kWh, mientras que en la zona rural es menor, 166 kWh (INEC, 2015). De acuerdo a los datos proporcionados por la empresa CENTROSUR, el consumo eléctrico anual per cápita de la población urbana es de 1121 kWh/hab/año, considerando el total de energía consumida en los distintos segmentos (residencial, industrial, comercial, alumbrado público y otros). El sector residencial es el mayor consumidor con el 38%, seguido del sector industrial con el 24% el sector comercial con el 24%, alumbrado público con el 7% y otros con el 7%.

En la Figura 18 se puede apreciar la distribución del consumo eléctrico³ en la zona urbana de Cuenca. Evidentemente, las zonas de alto consumo son justamente los sectores donde se emplazan las industrias, como lo es el parque industrial que se ubica al noroeste de la ciudad. Dentro del rango 1000 kWh/mes – 3,000,000 kWh/mes se ubican consumidores comerciales e industriales, mientras que los sectores residenciales se ubican mayoritariamente en un rango de consumo entre 100 a 500 kWh/mes.

³ La distribución espacial del consumo eléctrico se obtuvo mediante el software Arcgis (sistema de información geográfico) , interpolando el consumo facturado registrado en los puntos de conexión, utilizando el algoritmo “Natural Neighbord”

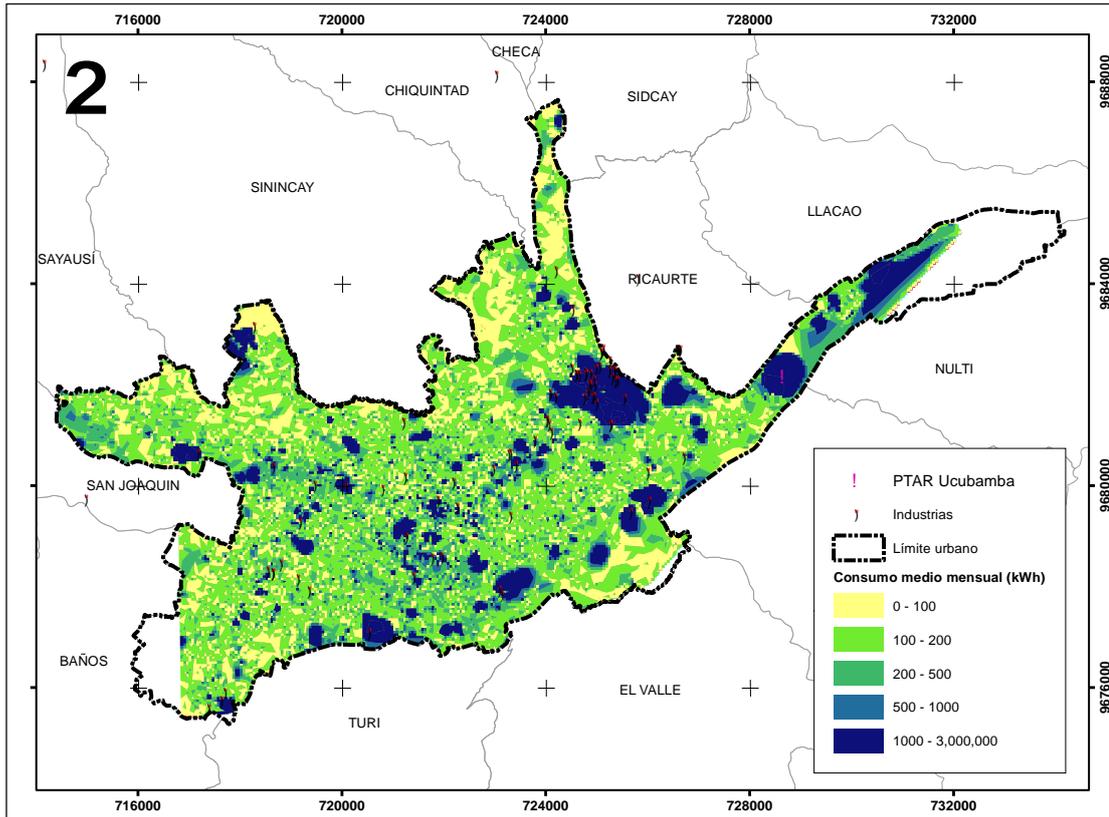


Figura 18: Distribución espacial del consumo eléctrico en la ciudad de Cuenca
Fuente: CENTROSUR. Elaboración: El Autor

En lo referente a energía fósil, el cantón Cuenca consume alrededor de 90 millones de galones de combustibles al año, siendo la gasolina extra y el diésel los combustibles de mayor demanda. La mayoría de este combustible se distribuye en la zona urbana, considerando la ubicación de las estaciones de servicio, las cuales en su mayoría están emplazadas dentro de los límites urbanos (Figura 21). La gasolina extra, gasolina súper y el diésel premium son los hidrocarburos utilizados exclusivamente en el transporte, cuya demanda representa aproximadamente el 90% del total de combustibles despachados en el cantón. Cabe resaltar que la gasolina extra también es usada en la industria pero su consumo es marginal en comparación con el transporte. Actualmente el diésel 2 y el fueloil son usados únicamente en la industria y en la generación de energía térmica (Red de Monitoreo de Calidad del Aire, 2016b). En la Figura 19 se puede observar la evolución del consumo de hidrocarburos

líquidos en el cantón Cuenca según las estadísticas publicadas en los inventarios de emisiones.

Por otra parte, el consumo de combustibles gaseoso se concentra en el sector doméstico, pues el 95% de los hogares cuencanos utiliza GLP para cocción de alimentos y un 59% usa GLP para calentamiento de agua (Baquero & Quesada, 2016; INEC, 2011b). La industria también tiene una importante participación en la demanda de GLP y GN, este último hidrocarburo usado únicamente en este sector, el cual se comenzó a consumir desde el año 2011 (Figura 20).

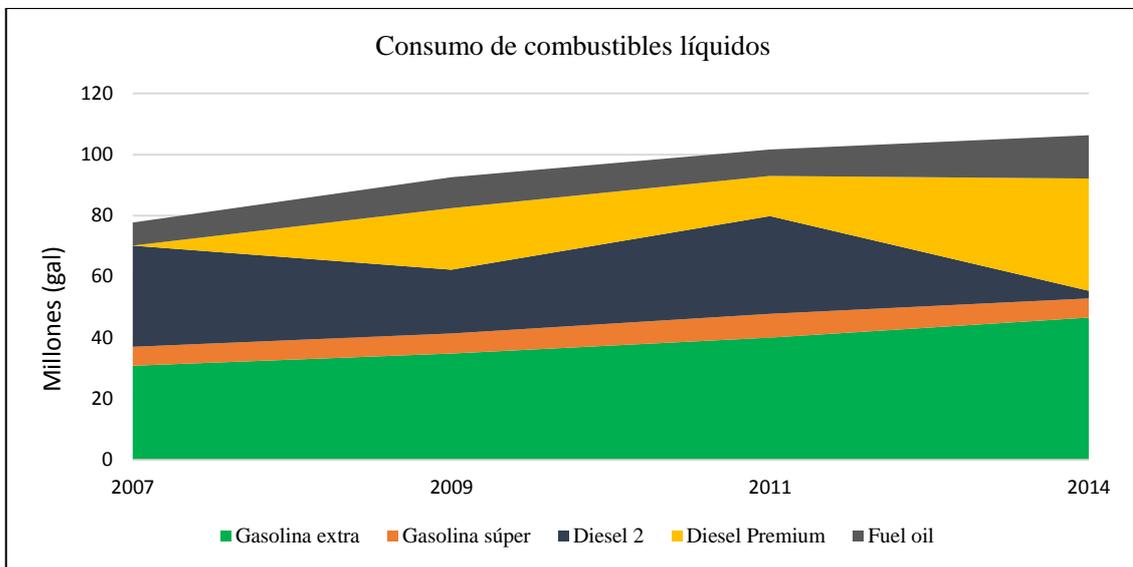


Figura 19: Consumo de combustibles líquidos cantón Cuenca
Fuente: (Fundación Natura, Cuencaire, & CGA, 2009; Red de Monitoreo de Calidad del Aire, 2011, 2013, 2016b). Elaboración: El Autor

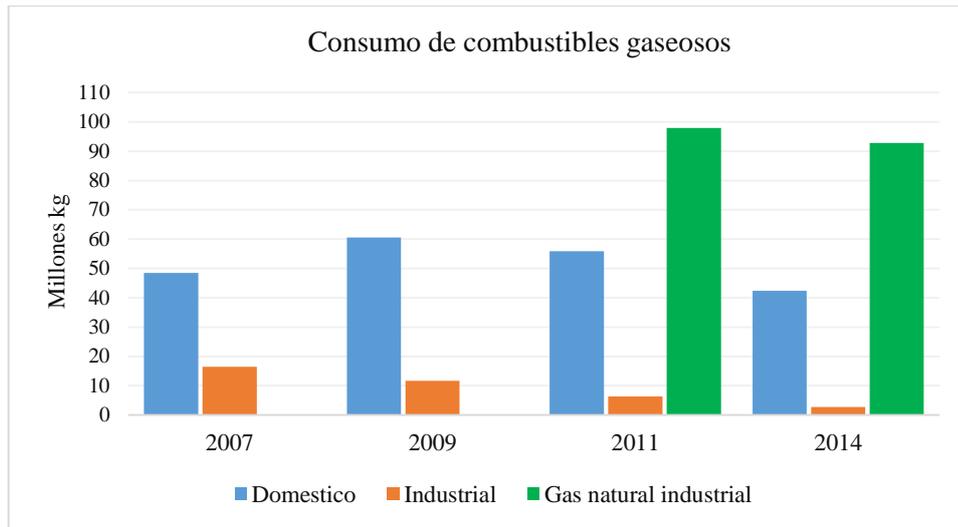


Figura 20: Consumo de combustibles gaseosos cantón Cuenca
Fuente: (Fundación Natura et al., 2009; Red de Monitoreo de Calidad del Aire, 2011, 2013, 2016b).
Elaboración: El Autor

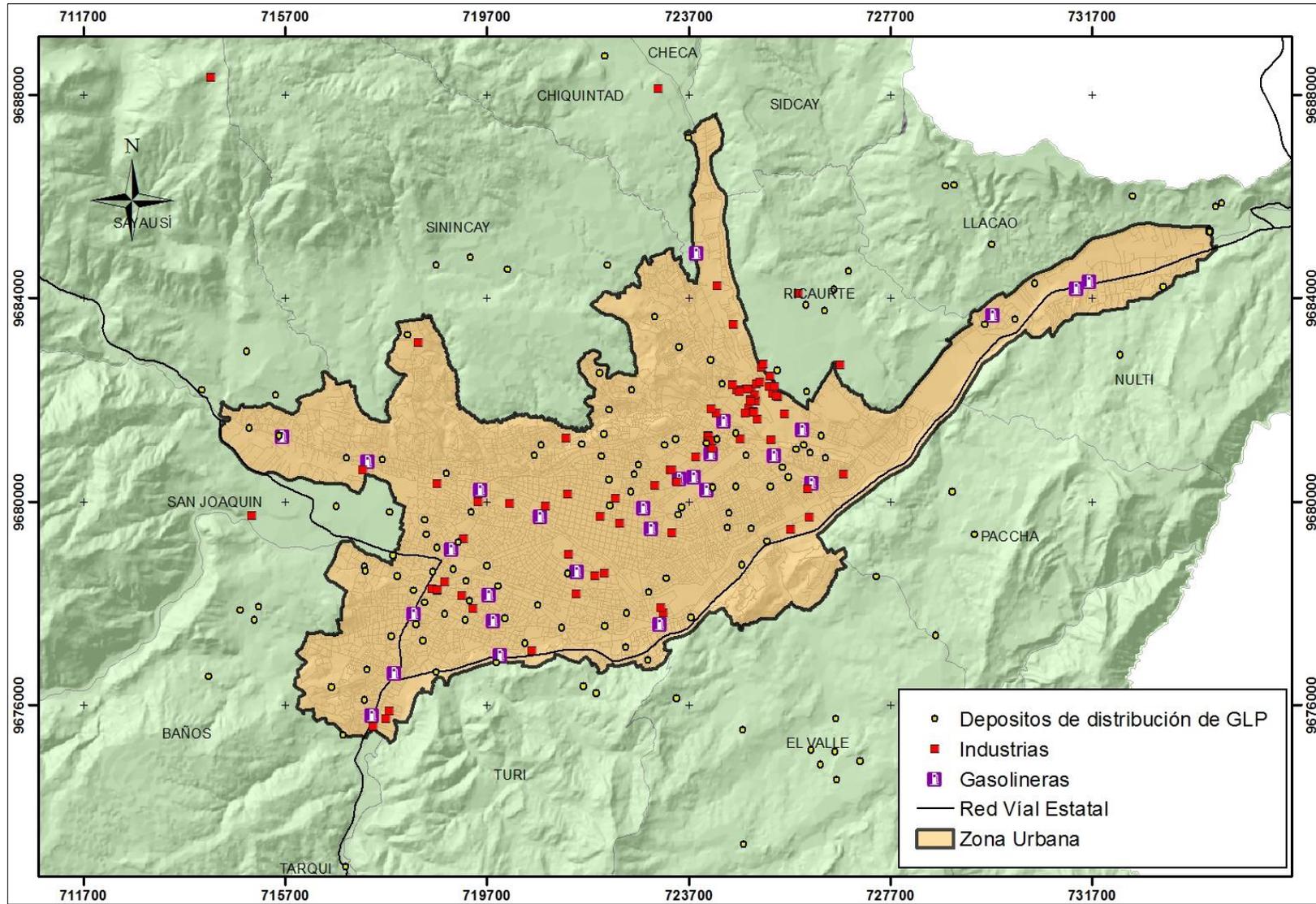


Figura 21: Centros de distribución y consumo de combustibles cantón Cuenca
Fuente: ARCH. Elaboración: El Autor

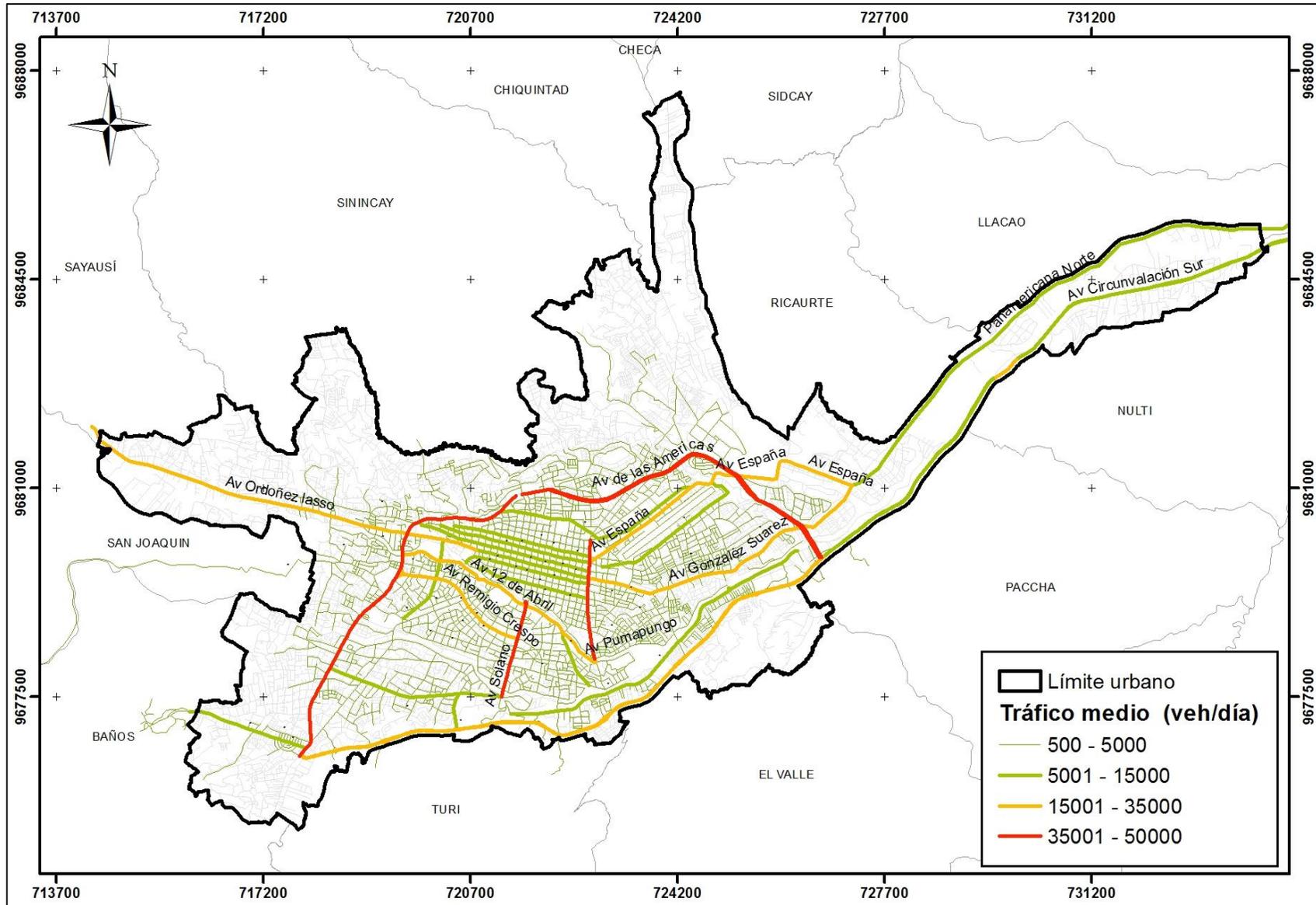


Figura 22: Intensidad del tráfico ciudad de Cuenca
Fuente: (Fundación Natura et al., 2009). Elaboración: El Autor

3.10. Emisiones

Entre las fuentes contaminantes consideradas en el cantón Cuenca están: fuentes móviles, estacionarias, naturales, puntuales y de área. Las fuentes móviles involucran todas las formas de transporte privado y público. Las fuentes estacionarias comprenden los establecimientos industriales, ubicados en su mayoría al noroeste de la ciudad de Cuenca (parque industrial). Las fuentes puntuales hacen referencia al punto de emisión específico de una actividad productiva (chimeneas). Las fuentes de área cantonal comprende el relleno sanitario, estaciones de servicio, ladrilleras, canteras, la planta de tratamiento de aguas residuales, depósito de solventes, entre las más importantes. Finalmente, las fuentes naturales, consideradas por emitir compuestos orgánicos volátiles (COVs), los cuales son precursores del ozono (O₃) (GAD Municipal de Cuenca, 2015a).

Según los resultados de la última actualización del inventario de emisiones del cantón Cuenca, año base 2014, el 80% de contaminantes primarios (CO, NO_x, VOC, SO₂, PM₁₀, PM_{2.5}) emitidos a la atmósfera corresponden al tráfico vehicular. Mientras que el 20% restante de emisiones proviene de las distintas fuentes consideradas en el cantón, de ellas se destaca las centrales térmicas y las industrias, especialmente en las emisiones de SO₂ (Red de Monitoreo de Calidad del Aire, 2016b). La mayor cantidad de emisiones por parte del sector motorizado se presenta en la zona urbana debido al alto flujo vehicular que se evidencia en sus principales avenidas. Por ejemplo, el eje vial exterior comprendido por la Avenida de Circunvalación Sur y la Avenida de Las Américas, y el eje interno conformado por la Avenidas Huayna Capac, Solano, España, 12 de Abril y la Avenida Remigio Crespo abastecen un volumen entre 15,000 a 50,000 vehículos al día (Figura 22) (GAD municipal de Cuenca, 2015a).

3.11. Calidad del aire

Las emisiones generadas por las distintas fuentes concentran una gran variedad de contaminantes, algunos de estos afectan negativamente a la salud de las personas, denominándose como “contaminantes criterio”. En este grupo se considera el material particulado total en suspensión (PTS), monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO₂), óxidos de nitrógeno (NO_x), ozono (O₃) y el plomo (Pb) (Red de Monitoreo de Calidad del Aire, 2016a).

En la ciudad de Cuenca se monitorea la calidad del aire desde 2008 con 18 puntos distribuidos por la ciudad. Actualmente esta red de monitoreo cuenta con 20 puntos de vigilancia, la cual está conformada por una estación automática, una subred de muestreo por difusión pasiva en los 20 puntos, una subred de depósito de Partículas Sedimentables con 17 puntos y 3 estaciones de monitoreo activo de PM₁₀ (Jerves et al., 2016). La Tabla 10 muestra la tendencia de las concentraciones medias anuales de PM₁₀, SO₂, NO₂ y O₃ durante el periodo 2008 – 2015. Se puede notar que las concentraciones medias anuales de los contaminantes monitoreados no superan los límites establecidos por la Normativa Ecuatoriana de Calidad del Aire Ambiente (NECCA). Sin embargo, si se compara con la normativa internacional (Guía OMS), el PM₁₀ es el único contaminante que sobrepasa los niveles permitidos (Red de Monitoreo de Calidad del Aire, 2016a).

Tabla 10: Contaminantes monitoreados en la ciudad de Cuenca (concentración promedio anual)

	PM ₁₀ (µg/m ³)	SO ₂ (µg/m ³)	NO ₂ (µg/m ³)	O ₃ (µg/m ³)
2008	42	11.08	19.28	35.7
2009	41.9	14.22	17.3	39.9
2010	46	8.8	19.1	31.3
2011	33.8	7.55	15.1	27.4
2012	36.1	6.33	14.61	32.89

2013	32.4	7.08	18.54	37.3
2014	31.6	9.31	21.39	38.7
2015	39.9	18.57	20.68	44.61
NCAA	50	60	40	100
Guía OMS	20	50	40	100

Fuente: (Red de Monitoreo de Calidad del Aire, 2016a). Elaboración: El Autor

3.12. Aguas residuales

A nivel nacional, Cuenca es una de las ciudades con la mayor cobertura en cuanto al servicio de alcantarillado. En el año 2010 el área urbana tenía una cobertura del 93.91% (Figura 23), mientras que el sector rural solo el 32.92% se beneficiaba de la red pública de alcantarillado (INEC, 2011b). Sin embargo, la evolución de la cobertura de este sistema ha sido importante en la zona rural, ya que para el año 2014 el 60.79% de la población rural se beneficia con este servicio, mientras que en la ciudad alcanzó el 94.6% (GAD Municipal de Cuenca, 2015a).

El sistema de alcantarillado en el cantón Cuenca no solo comprende la red de tuberías que recolectan las aguas residuales, también está provisto de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) cuya función es depurar este líquido residual antes de que se vierta directamente a los ríos que atraviesan la ciudad. La PTAR Ucubamba está en operación desde 1999, y en capacidad para tratar 1860 lt/s. Actualmente esta PTAR capta el 95% de las aguas residuales que se generan en la ciudad, y son transportadas mediante interceptores que se ubican en los márgenes de los ríos que cruzan la ciudad (GAD Municipal de Cuenca, 2015a).

Estas aguas reciben un tratamiento preliminar, donde se separan los sólidos gruesos y de fácil sedimentación. Luego de este tratamiento preliminar, las aguas residuales reciben un tratamiento secundario, el cual se lleva a cabo en 6 lagunas (2 de aireación, 2 facultativas y 2 de maduración). De esta manera se dan las condiciones físicas y biológicas ideales para bajar la carga contaminante de las aguas residuales a tal punto que puedan ser descargadas a los

receptores naturales, en este caso al río Cuenca (GAD Municipal de Cuenca, 2014). En la fase preliminar se dragan una variedad de desechos gruesos que en su mayoría corresponden a fibra textil (70%), seguido de plásticos (25%), y el 5% restante de residuos está compuesto por grava y pedazos de madera (M. Espinoza et al., 2013).

Además el servicio de tratamiento de aguas residuales también se extiende a las parroquias rurales. El principal tipo de tratamiento en estas áreas son: fosas sépticas, filtros verdes, y reactores anaerobios (ETAPA EP, 2016). En la Figura 23 se puede observar la PTAR Ucubamba, las plantas de tratamiento en las parroquias rurales aledañas a la ciudad y la cobertura de aguas residuales en la zona urbana. También se puede notar que la cobertura de la PTAR Ucubamba se extiende a zonas periurbanas, beneficiando a parroquias como Ricaurte, San Joaquín, Baños, Sinincay, Sayausí y Turi.

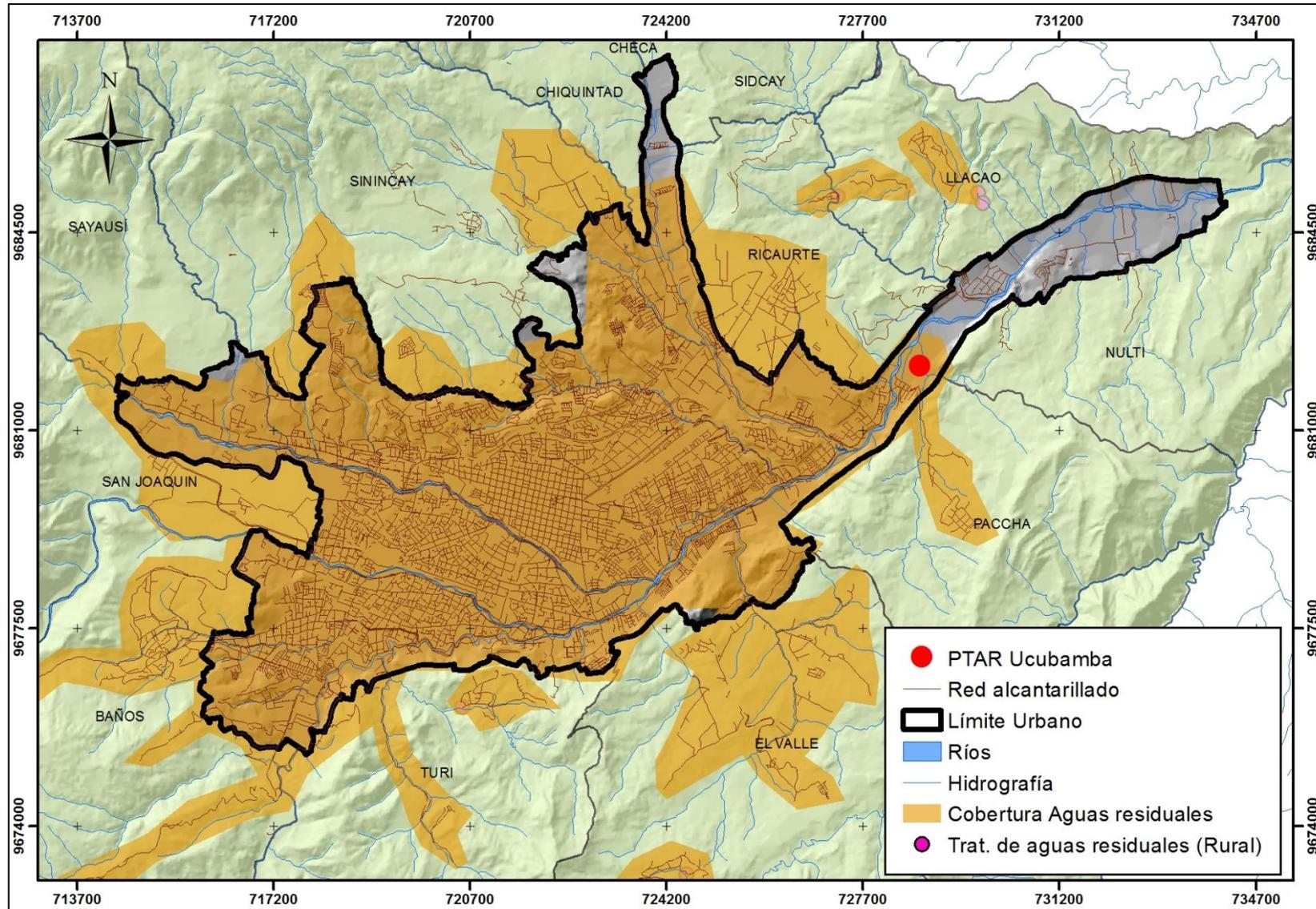


Figura 23: Cobertura de aguas residuales tratadas de Cuenca
Fuente: PDOT 2011. Elaboración: El Autor

3.13. Residuos sólidos

La Empresa Pública Municipal de Aseo de Cuenca (EMAC EP) fue creada en 1998 con la finalidad de prestar servicios de aseo público en el cantón tales como barrido, limpieza, recolección, transporte, tratamiento, y disposición final de los desechos sólidos, como también el manejo de residuos de construcción (GAD Municipal de Cuenca, 2014). De acuerdo a estadísticas del INEC (2010), el 98.8% de la población urbana del cantón Cuenca eliminó los residuos mediante el carro recolector, mientras que la zona rural, solo el 66.67% eliminó la basura por este medio. Siendo la quema el segundo método más utilizado en el área rural (25,54%) (INEC, 2011b). Actualmente, la empresa EMAC ofrece el servicio de recolección de residuos sólidos al 100% de la población urbana y al 73.73% de la población rural, (Figura 24).

En promedio la EMAC EP recolecta 394 toneladas/día de residuos sólidos, los cuales son dispuestos en el relleno sanitario Pichacay ubicado en la parroquia Santa Ana, a 21 km de la ciudad (EMAC EP, 2016). Este relleno aprovecha aproximadamente el 86.7% de los residuos compactados para la producción de biogás, cuyo poder calorífico será aprovechado desde el 2017. Se estima que para el primer año se generará 5, 844,300 kWh, en el segundo año 7, 013,160 kWh, y luego del tercer año hasta el octavo se generaría alrededor de 14 026 320 kWh, posteriormente la producción de biogás tendería a bajar y en efecto la generación eléctrica (Barragán et al., 2016).

Por otra parte, el 1.93% de los residuos sólidos (materia orgánica) se destinan a tratamiento de compostaje, y el 12.41% son desechos inorgánicos clasificados para reciclaje (BID, 2014). El tratamiento y aprovechamiento de los desechos orgánicos se realiza desde el año 2004. Estos residuos son recolectados en la ciudad y llevados a la Planta de Compostaje de la EMAC EP, donde reciben el tratamiento indicado para convertirlos en compost y humus. Luego el producto de compostaje es destinado al mejoramiento del suelo de áreas verdes de la

ciudad. El reciclaje de desechos inorgánicos se viene practicando desde el año 2006, con la finalidad de prolongar la vida útil del relleno sanitario de Pichacay. Los desechos de reciclaje que son recolectados diariamente son básicamente de material plástico (rígido y duro), papel, cartón, chatarra y artículos electrónicos. Este material es dispuesto en los centros de acopio (asociaciones de recicladores), donde se realiza una selección y clasificación para luego ser comercializados a empresas que utilizan estos residuos como materia prima (GAD Municipal de Cuenca, 2014).

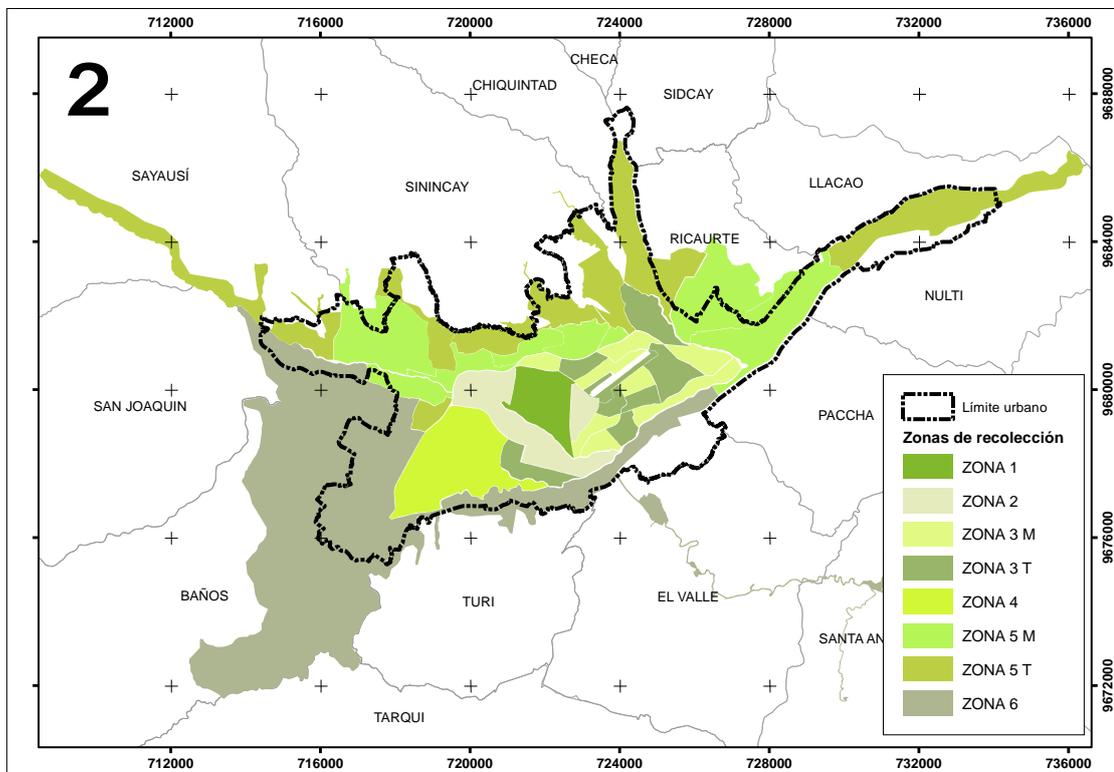


Figura 24: Cobertura de recolección de residuos sólidos Cuenca

Fuente: EMAC. Elaboración: El Autor

4. MATERIALES Y MÉTODOS

Una vez revisadas las diferentes metodologías aplicadas en el estudio del MU, se eligió la metodología de Análisis de Flujos de Materiales y Energía (AFME). El AFME permite la contabilización de entradas, salidas y stocks o almacenamientos que ocurren en la ciudad, basándose principalmente en el sistema Eurostat (EUROSTAT, 2001), cuya lista de entradas y salidas está estandarizada para contabilizar el flujo de materiales a nivel de países de la Unión Europea. Este sistema ha sido adaptado para estudiar el MU de ciudades y complementado con el análisis de otros flujos tales como el consumo de agua, precipitación eléctrica, radiación solar, entre otros (Voskamp et al., 2016).

4.1. Diseño

Los flujos metabólicos estudiados en la ciudad de Cuenca se fundamentan en la lista propuesta por Kennedy et al. (2012), la cual representa las principales entradas, salidas, productos y stocks que permiten identificar el metabolismo de las ciudades. También se tomó como referencia los componentes metabólicos estudiados en los trabajos que aplicaron la metodología AFME (Tabla 2 y 3). En este trabajo no se analizó el almacenamiento de flujos (stocks) debido a la falta de información.

La Figura 25 muestra el proceso metodológico aplicado en este trabajo. El primer paso fue realizar una revisión bibliográfica sobre el concepto de MU, metodologías aplicadas, limitaciones, estudios de MU y resultados obtenidos. El siguiente paso fue describir el área de estudio mediante un diagnóstico de sus aspectos poblacionales, económicos, uso del suelo, consumo de recursos y emisiones a la naturaleza (agua, gases, sólidos). En este paso, la información cartográfica fue fundamental para representar de forma espacial la cobertura de la información disponible respecto al límite geográfico de estudio. Es decir, las zonas de consumo, producción y emisiones identificadas en la ciudad: cobertura de agua potable,

fuentes de consumo de energía fósil y eléctrica, zonas de producción de residuos sólidos, y fuentes de emisión.

Posteriormente se identificó las fuentes de información tanto a escala regional como cantonal. Los datos correspondientes al consumo de agua y producción de aguas residuales provienen de la empresa ETAPA EP, los datos de emisiones atmosféricas provienen de los reportes de los inventarios de emisiones realizados por la empresa EMOV EP, y los datos de producción de residuos sólidos son registrados por la empresa EMAC EP. Mientras que la información concerniente a energía eléctrica y energía fósil proviene de instituciones gubernamentales de escala regional como la CENTROSUR y la ARCH, respectivamente. Una fuente de información que también fue importante para este estudio es el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos del Ecuador (INEC). Esta institución es la encargada de recopilar información nacional de población, vivienda, economía y producción agropecuaria a través de censos y encuestas que realizan en periodos determinados.

Una vez identificadas las instituciones que manejan la información de interés, se realizó una investigación de campo en cada una de estas para definir la información disponible que se podía solicitar. La mayoría de la información solicitada fue entregada por medio electrónico y físico, la cual fue procesada y digitalizada en hojas de Excel. Finalmente, se elaboró una tabla con la intensidad de cada flujo analizado, presentando la variación del metabolismo urbano durante un periodo de ocho años. El periodo de análisis varía de acuerdo a la información disponible y alcance del estudio; por ejemplo, Alfonso et al (2014) analiza la variación de flujos metabólicos en un periodo de 30 años, Sahely et al (2003) en un periodo de 12 años, y Conke et al (2015) en un periodo de 10 años. En este estudio se ajustó a un periodo de 8 años debido a la falta de información histórica de mayor amplitud para ciertos flujos metabólicos.

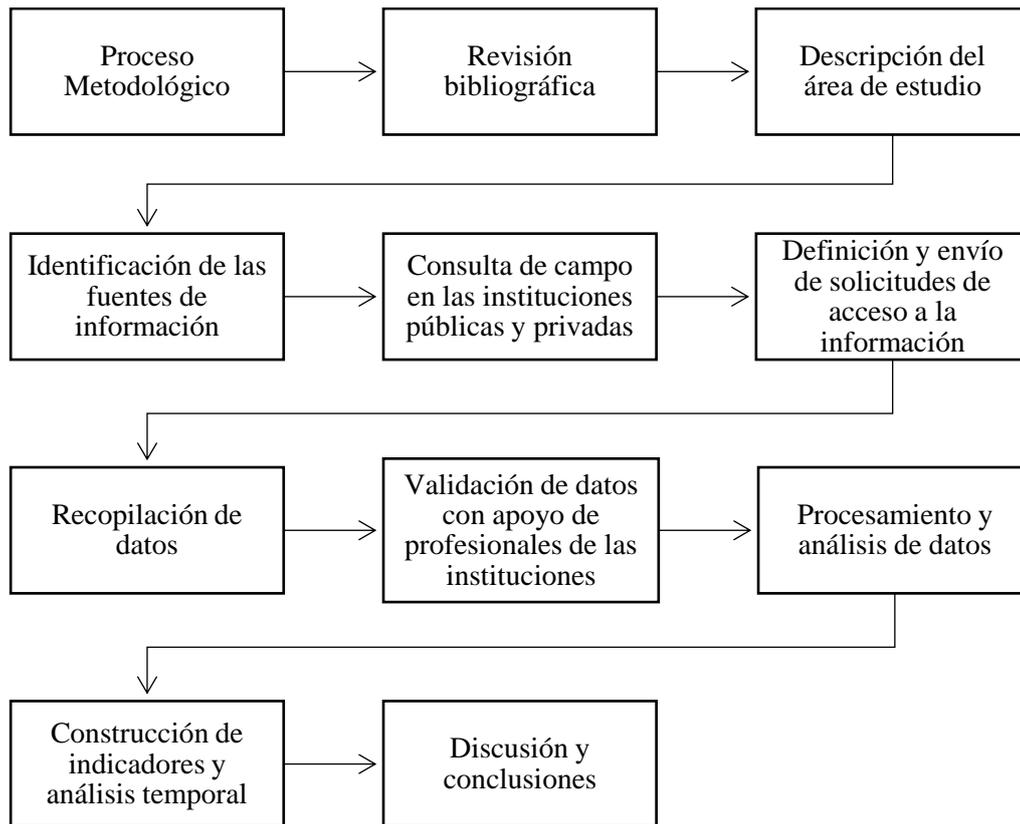


Figura 25: Proceso metodológico en el estudio del MU de la ciudad de Cuenca
Elaboración: El Autor

4.2. Flujos metabólicos escogidos para medir el MU de la ciudad de Cuenca

La Tabla 11 pone a consideración los flujos metabólicos propuestos para medir el metabolismo de la ciudad de Cuenca, la fuente consultada, el detalle de la información recibida por parte de fuentes oficiales y el periodo disponible.

Tabla 11: Flujos Metabólicos de análisis para la ciudad de Cuenca

Entradas	Fuente consultada	Detalle de la información obtenida	Nivel geográfico de la información analizada	Periodo
Producción de agua potable	Empresa pública municipal de telecomunicaciones, agua potable, alcantarillado y saneamiento ETAPA EP	Volumen de agua potabilizada (m ³) por la PTAP El Cebollar y Tixán	Cantón	1996-2016
Consumo de agua potable	Empresa pública municipal de telecomunicaciones, agua potable, alcantarillado y saneamiento ETAPA EP	Consumo facturado de agua potable (m ³) por la población cantonal beneficiada por categorías de consumo	Cantón	1996-2016

Materiales de construcción	Cámara de Construcción de Cuenca. Cámara de Industrias de Cuenca	No se ubicó información	-----	-----
Alimentos	GAD Municipal de Cuenca, Dirección de Mercados Municipales	No se ubicó información	-----	-----
Energía eléctrica	Empresa eléctrica regional centro sur CENTROSUR (escala regional)	Consumo eléctrico facturado (kWh) por parroquias rurales y urbanas y por categoría de consumo	Zona urbana	2012-2015
Energía fósil	Agencia de regulación y control de hidrocarburos ARCH-Azuay (escala regional)	Volumen despachado (galones) en gasolineras e industrias (combustibles líquidos). Despachos y facturación por distribuidores (kg de GLP), Despachos desde Petrocomercial (kg de GN)	Zona urbana	2007-2016
SALIDAS	Fuente consultada	Detalle de la información obtenida	Nivel geográfico de la información analizada	Periodo
Producción de aguas residuales	Empresa pública municipal de telecomunicaciones, agua potable, alcantarillado y saneamiento ETAPA EP	Volumen de aguas tratadas (m ³) (cobertura de alcantarillado)	Zona urbana y periurbana	2005-2016
Emisiones de GEI	Empresa pública municipal de movilidad y transporte terrestre EMOV EP (Red de Monitoreo de calidad del Aire)	Reporte de emisiones atmosféricas a nivel cantonal	Cantón	2007-2014
Emisiones contaminantes	Empresa pública municipal de movilidad y transporte terrestre EMOV EP (Red de Monitoreo de calidad del Aire)	Reporte de emisiones atmosféricas a nivel cantonal	Cantón	2007-2014
Producción de residuos sólidos	Empresa pública municipal de aseo Cuenca EMAC EP	Pesaje de residuos sólidos dispuestos en el relleno Pichacay desagregados por su origen (ton). Pesaje de residuos orgánicos e inorgánicos reciclados (ton)	Cantón	2005-2016

Elaboración: El Autor

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Análisis y presentación de los datos

La información que se presenta en esta sección se agrupa en flujos de entrada y flujos de salida. Los datos son presentados en diferentes periodos, debido a que se solicitó históricos sin un periodo referencial con la finalidad de obtener el mayor rango temporal de información disponible en cada una de las instituciones consultadas. Posteriormente se analizará dicha información en dos periodos comunes para todos los flujos metabólicos considerados en este trabajo, tomando como referencia los estudios realizados en ciudades Latinoamericanas (Alfonso et al., 2014; Conke et al., 2015). De esta manera se busca identificar los flujos que han tenido mayor intensidad en la ciudad en un periodo determinado.

5.1.1. Flujos de entrada

5.1.1.1. Agua

En la Tabla 12 y Figura 26 se muestra la producción de agua potable que se distribuye en la ciudad y consumo de agua potable entre 1996 y 2016. La producción de agua potable anual (PAP) ha pasado de 34,829,610 m³ en 1996, a 45,124,489 m³ en el 2016, lo cual resulta en un incremento de 9,712,138 m³ (29,43%) en los últimos veinte años. Sin embargo, si se considera el incremento desde 1997 al 2016 el escenario cambia completamente, debido a que en el año 1997 se registró el mayor volumen de PAP durante los últimos veinte años, con una variación del 45.51%, respecto al año 1996. Por lo tanto si se analiza el periodo 1997-2016 la PAP ha presentado un decrecimiento del 10.96%. Ahora bien, en este periodo se evidencia dos comportamientos distintos; entre 1997 - 2007 la PAP presenta una tasa de crecimiento anual negativa, y entre 2007 - 2016 la tasa de variación anual es positiva. Como se puede ver en la Figura 26 la producción de agua disminuye considerablemente desde 1997 hasta 2007, resultado de los esfuerzos realizados para controlar las fugas de agua mediante ajustes en la

presión de las redes y conexiones clandestinas. También se debe agregar el mejoramiento en los medidores de agua potable, ya que en muchos casos se encuentran obsoletos y registran volúmenes erróneos. El control de los reboses de agua potable en los tanque de almacenamiento y entre otros factores que han sido mejorados constantemente (PGP, 2016).

Por otra parte, el consumo de agua potable (CAP) en el periodo 1996-2016 ha crecido 15,373,524 m³ (81.42%), Durante este periodo se ha presentado una tasa de variación anual positiva, excepto en los años 1999, 2001 y 2007. Mientras que los mayores saltos se dieron en los años 1997 (12.05%), 2009 (5.43%), 2013 (5.30) y 2016 (5.04%). La mayor tasa de variación anual del CAP coincide justamente con la de PAP (45.51%). En promedio, el CAP presenta un incremento anual del 3.07%.

En la Tabla 12 también se pone a consideración el volumen de agua no contabilizada (diferencia entre PAP Y CAP) y el índice del agua no contabilizada (IANC) (porcentaje de agua consumida con respecto a la oferta de agua potable). Como se puede notar en la tabla el IANC ha disminuido significativamente durante el periodo referencial, registrándose el mayor IANC en el año 1997 (58.26%). Esto indica que en ese año se consumió menos de la mitad de la oferta de agua potable, lo cual representó una pérdida de 29,525,257 m³. Tal suceso se justifica por la presurización que se manifestó en gran parte del sistema de redes de agua potable, ya que fue el año donde comenzó a operar la PTAP El Cebollar. Por otro lado, el IANC más bajo corresponde al año 2013 (19.32%). No obstante, en los últimos tres años el IANC ha tenido un leve incremento, que de acuerdo a técnicos de ETAPA EP esto se debería por roturas provocadas principalmente por la construcción del tranvía.

Tabla 12: Producción y consumo final de agua potable 1996-2016

Periodo	Producción total (m ³)	Consumo final (m ³)	Agua no contabilizada (m ³)	Índice de agua no contabilizada (%)
1996	34,829,610	18,880,603	15,949,007	45.79
1997	50,680,784	21,155,527	29,525,257	58.26
1998	47,359,260	22,116,768	25,242,492	53.30

1999	46,976,421	21,313,254	25,663,167	54.63
2000	48,044,385	22,280,666	25,763,719	53.62
2001	45,696,305	22,231,733	23,464,572	51.35
2002	41,863,791	22,235,276	19,628,515	46.89
2003	41,553,281	23,103,007	18,450,274	44.40
2004	38,226,023	23,480,371	14,745,652	38.57
2005	36,941,645	24,348,070	12,593,575	34.09
2006	36,659,449	25,402,092	11,257,357	30.71
2007	35,412,351	25,374,698	10,037,653	28.35
2008	35,841,634	26,064,077	9,777,557	27.28
2009	36,549,480	27,480,301	9,069,179	24.81
2010	37,226,117	28,219,860	9,006,257	24.19
2011	37,812,372	28,901,466	8,910,906	23.57
2012	38,573,088	30,144,776	8,428,312	21.85
2013	39,343,566	31,741,304	7,602,262	19.32
2014	41,210,092	32,409,272	8,800,820	21.36
2015	43,223,384	32,610,972	10,612,412	24.55
2016	45,124,489	34,254,127	10,870,362	24.09

Fuente: Departamento de Planificación de ETAPA EP
Elaboración: El Autor

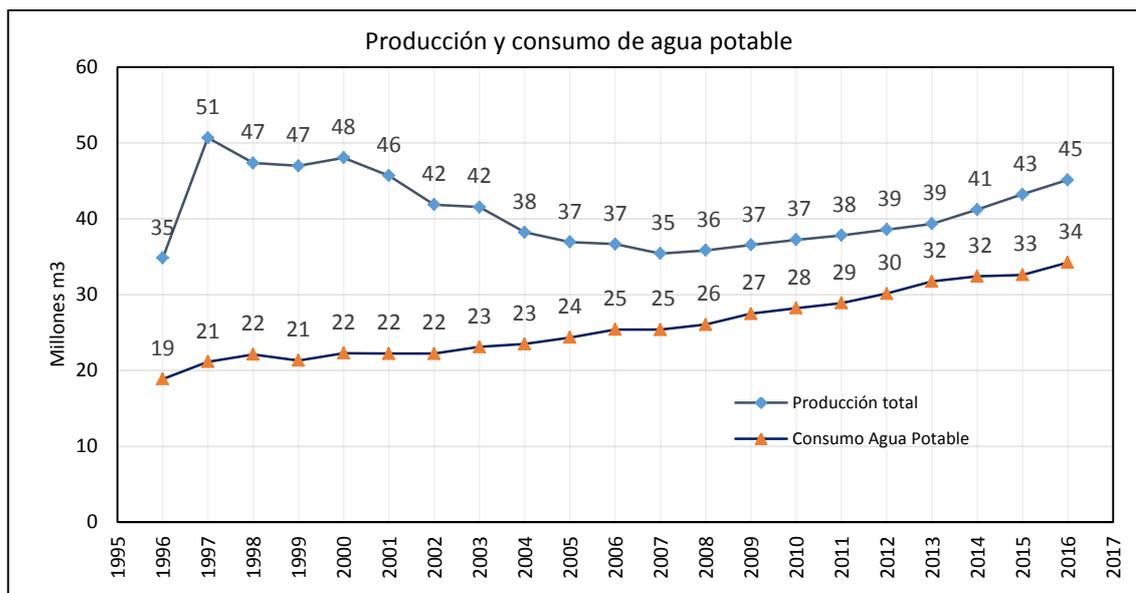


Figura 26: Producción y consumo de agua potable 1996-2016

Fuente: Departamento de Planificación de ETAPA EP. Elaboración: El Autor

Respecto al tipo de consumo de agua potable en la ciudad, ETAPA diferencia 5 categorías de consumo (residencial, comercial, industrial, construcción y especial) (Tabla 13). El sector residencial hace referencia al consumo doméstico; el sector comercial comprende el consumo de establecimientos comerciales, financieros, turísticos, artesanales, oficinas particulares, empresas y el consumo de la pequeña industria; el sector industrial considera el consumo de

las medianas y pequeñas industrias; el sector de la construcción comprende el consumo en actividades de infraestructura; y, el sector especial aglutina el consumo de instituciones educativas, iglesias, cámaras de comercio y de industrias, hospitales, bomberos, fundaciones sin fines de lucro, entidades públicas nacionales y provinciales, clubes y asociaciones.

La información del consumo de agua por categorías se encuentra disponible desde el año 2003. El CAP se concentra en el sector residencial con el 81%, le sigue el sector comercial con el 9%, el sector especial con el 6%, y el sector industrial y de la construcción representan tan solo el 3%. Con respecto al comportamiento del consumo en términos de variación anual, el sector de la construcción es uno de las categoría que mayor ha incrementado su consumo con una tasa de variación promedio anual de 6.27% entre 2003-2016. Así mismo el sector especial y comercial presentan una alta tasa promedio anual 4.85% y 4.75% respectivamente. Mientras que el consumo de la categoría residencial ha crecido anualmente, en promedio un 2.85% (Tabla 14).

En la Tabla 14 se puede apreciar las distintas tasas de variación anual de cada categoría durante el periodo 2003-2016. Si bien el consumo de las categorías o sectores diferentes del consumo residencial, exhiben altas tasas de crecimiento tanto anual como total, no afectan significativamente el consumo total. Dado que la tasa de crecimiento anual y total del consumo residencial son similares a las del consumo total (Figura 27).

Tabla 13: Consumo de agua por categorías 2003-2016

Año	Residencial (m³)	Comercial (m³)	Industria (m³)	Construcción (m³)	Especial (m³)	Total (m³)
2003	18,787,365	2,081,581	700,021	233,340	1,303,010	23,103,007
2004	19,061,365	2,232,983	657,450	260,632	1,267,940	23,480,371
2005	19,721,937	2,342,284	640,354	260,524	1,382,970	24,348,070
2006	20,479,167	2,514,807	716,339	246,400	1,397,115	25,402,092
2007	20,387,954	2,531,791	708,921	213,815	1,532,217	25,374,698
2008	21,061,611	2,483,226	681,460	211,433	1,626,347	26,064,077
2009	22,409,079	2,583,552	634,022	191,918	1,661,730	27,480,301
2010	23,056,619	2,661,193	739,060	149,903	1,613,085	28,219,860

2011	23,693,359	2,774,021	728,002	102,130	1,603,954	28,901,466
2012	24,711,810	2,792,617	735,470	115,956	1,788,923	30,144,776
2013	26,071,078	2,801,517	756,992	187,006	1,924,711	31,741,304
2014	26,806,424	2,786,869	546,423	255,340	2,014,216	32,409,272
2015	26,558,126	3,075,301	493,432	321,126	2,162,987	32,610,972
2016	27,008,278	3,731,472	762,961	370,916	2,380,500	34,254,127

Fuente: Departamento de Planificación ETAPA. Elaboración: El Autor

Tabla 14: Tasa de variación anual del consumo de agua por sectores 2003-2016

Año	Residencial	Comercial	Industrial	Construcción	Especial	Total
2003						
2004	1.46	7.27	-6.08	11.70	-2.69	1.63
2005	3.47	4.89	-2.60	-0.04	9.07	3.70
2006	3.84	7.37	11.87	-5.42	1.02	4.33
2007	-0.45	0.68	-1.04	-13.22	9.67	-0.11
2008	3.30	-1.92	-3.87	-1.11	6.14	2.72
2009	6.40	4.04	-6.96	-9.23	2.18	5.43
2010	2.89	3.01	16.57	-21.89	-2.93	2.69
2011	2.76	4.24	-1.50	-31.87	-0.57	2.42
2012	4.30	0.67	1.03	13.54	11.53	4.30
2013	5.50	0.32	2.93	61.27	7.59	5.30
2014	2.82	-0.52	-27.82	36.54	4.65	2.10
2015	-0.93	10.35	-9.70	25.76	7.39	0.62
2016	1.69	21.34	54.62	15.50	10.06	5.04
Promedio	2.85	4.75	2.11	6.27	4.85	3.09
Total	43.76	79.26	8.99	58.96	82.69	48.27

Elaboración: El Autor

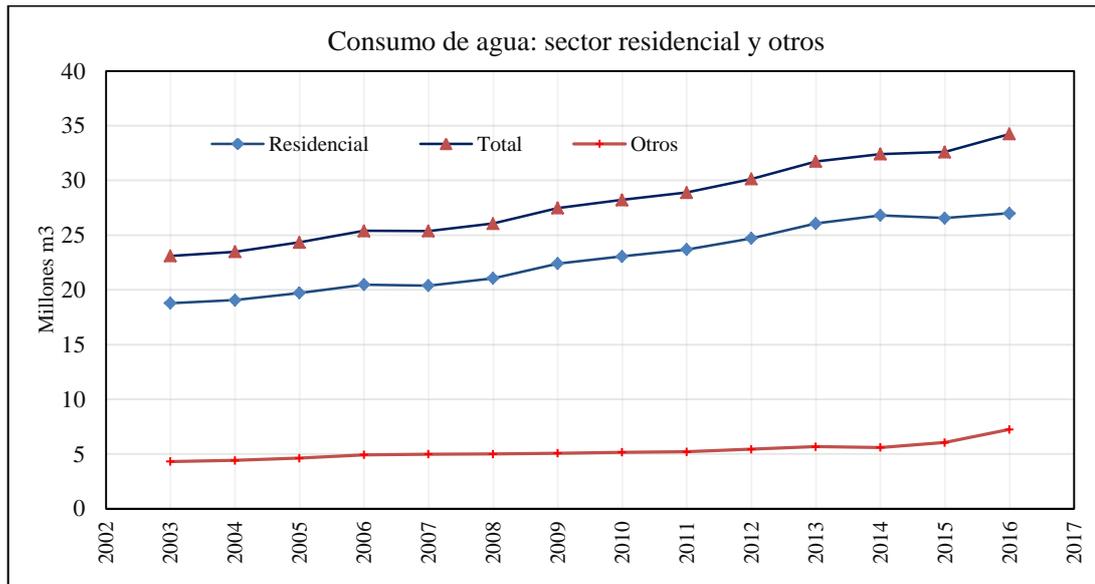


Figura 27: Evolución del consumo de agua desagregado por sector industrial y otros 2003-2016
Fuente: Dirección de Planificación ETAPA. Elaboración: El Autor

5.1.2. Energía

5.1.2.1. Energía Eléctrica

La distribución de energía eléctrica en la ciudad de Cuenca está a cargo de la empresa CENTROSUR, cuya área de concesión total es de 30,273 km², abarcando 3 provincias: Morona Santiago, Azuay y Cañar (zona de planificación 6) (Bermeo, 2013). La ciudad de Cuenca representa aproximadamente el 45% de la energía eléctrica consumida por la Zona de Planificación 6, según SENPLADES. Sin embargo, de acuerdo a la información disponible este porcentaje ha bajado paulatinamente; en el año 2012 el consumo en la zona urbana de Cuenca concentró el 48.5% del total consumido en la Zona 6, y en el año 2015 bajó a 43.4%. Este descenso se justifica en parte por el bajo crecimiento en el consumo eléctrico que ha experimentado la zona urbana de Cuenca (7 %) frente al crecimiento del consumo eléctrico de la Zona 6 (19.5 %) (CENTROSUR, 2016).

El consumo de energía eléctrica se distribuye a cinco tipos de clientes: residencial, comercial, industrial, otros y el alumbrado público como único cliente. El mayor consumidor es el sector residencial con el 37%, le sigue el sector industrial con el 25%, el comercial con

el 24%, el alumbrado público con el 7%, y otros con el 7%. Esta proporción en el consumo eléctrico por tipo de cliente se ha mantenido durante el periodo 2012-2015 (Figura 28).

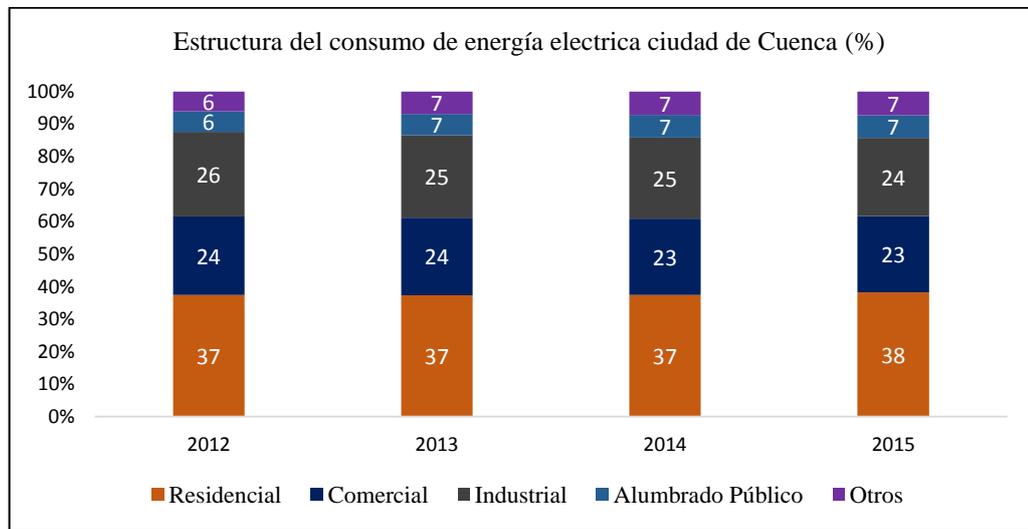


Figura 28: Estructura del consumo eléctrico en la zona urbana de Cuenca
Fuente: CENTROSUR. Elaboración: El Autor

La Tabla 15 presenta el consumo final de energía eléctrica por tipo de cliente en MWh, y en la Tabla 16 se aprecia la tasa de variación anual y total. Considerando la variación total, durante el periodo 2012-2015 el consumo de energía eléctrica en la ciudad de Cuenca ha incrementado un 7.05%. La categoría “otros” y el alumbrado público han sido los segmentos que mayor han incrementado su consumo con el 26.37% y 19.89% respectivamente. Mientras que el consumo de los clientes residenciales y comerciales presentan una tasa de variación total de 9.22% y 4.12% respectivamente. En cambio, el consumo industrial exhibe un decrecimiento del 1.04% para el mismo periodo.

Vale resaltar que el consumo del alumbrado público es una estimación a partir del consumo total del cantón Cuenca y el número promedio de iluminarias por cliente residencial en la ciudad. De esta manera se obtuvo que el 65% del alumbrado público del cantón Cuenca se emplaza en la ciudad.

Tabla 15: Consumo eléctrico por sectores (MWh) en la zona urbana de Cuenca 2012-2015

Año	Residencial	Comercial	Industrial	Alumbrado Público	Otros	Total
2012	149,695	96,177	103,998	25,038	24,622	399,530
2013	153,849	98,552	104,281	27,038	28,627	412,346
2014	157,660	98,946	105,209	29,408	30,257	421,480
2015	163,503	100,142	102,916	30,017	31,115	427,692

Fuente: CENTROSUR. Elaboración: El Autor

Tabla 16: Tasa de Variación del consumo eléctrico en la zona urbana de Cuenca 2012-2015

Año	Residencial (%)	Comercial (%)	Industrial (%)	Alumbrado Público (%)	Otros (%)	Total (%)
2012	-	-	-	-	-	-
2013	2.77	2.47	0.27	7.99	16.27	3.21
2014	2.48	0.40	0.89	8.77	5.69	2.22
2015	3.71	1.21	-2.18	2.07	2.84	1.47
Promedio	2.99	1.36	-0.34	6.27	8.26	2.30
Total	9.22	4.12	-1.04	19.89	26.37	7.05

Elaboración: El Autor

Por otra parte, en la Tabla 18 se muestra el número de clientes registrados en cada año del periodo referencial. El 81% de los clientes en la ciudad son residenciales, el 15.3% son comerciales, el 2.55% son industriales, y tan solo el 1.19% pertenecen a los clientes designados en la categoría “otros⁴”. En contraste con el consumo de energía eléctrica, los clientes industriales, comerciales y otros (especialmente hospitales y universidades) son los grandes consumidores, considerando que estos concentran el 19% de los clientes totales y consumen el 54% de la energía eléctrica total en la zona urbana. En la tabla 17 se puede diferenciar el consumo anual por cliente, evidentemente el mayor consumidor es el cliente industrial, el cual consume 22 veces más que un cliente residencial. La magnitud de consumo del sector industrial está marcado particularmente por las siguientes industrias: Graiman,

⁴ En esta categoría se ubican instituciones educativas, iglesias, hospitales, fundaciones sin fines de lucro, entidades públicas nacionales, provinciales, clubes y asociaciones

Cartopel, Contiental Tire Andina, Italpisos , Ceramica Rialto y la PTARU, cuyo consumo representa el 65% del consumo total industrial

Tabla 17: Energía consumida por tipo de cliente (kWh/cliente/año)

Año	Residencial	Comercial	Industrial	Otros	Total
2012	1,616.9	5,469.9	33,300.7	13,403.5	3,252.9
2013	1,618.3	5,402.5	33,693.3	25,089.4	3,278.0
2014	1,609.8	5,367.9	34,918.5	23,292.5	3,248.7
2015	1,627.2	5,365.8	35,512.6	22,514.4	3,222.0

Fuente: CENTROSUR. **Elaboración:** El Autor

Con respecto al número de clientes registrados por año, el sector residencial y comercial registra anualmente un promedio de 2,633 y 360 clientes respectivamente. Si bien este promedio no es adecuado para el sector comercial debido al corto periodo considerado, y las variaciones que se presentan en este sector, si resulta interesante para el sector comercial. Pues este último ha mantenido una tendencia poco variable entre 2,483 a 2,873 clientes registrados al año. Al contrario del sector residencial y comercial, los clientes industriales y los asignados como “otros” han disminuido entre 2012 y 2015, particularmente los clientes industriales que pasaron de 3123 a 2898. Una de las justificaciones que sustenta técnicos de la CENTROSUR es que algunos clientes industriales se han desconectado de la red de distribución eléctrica para cambiar su ubicación geográfica hacia la zona rural. A causa de esto el consumo industrial en la zona urbana pasó de 103,998 MWh, a 102,915 MWh, mientras que en la zona rural el consumo industrial pasó de 34,945 MWh, a 47,217 MWh, en el periodo 2012-2015.

Tabla 18: Clientes registrados en la zona urbana 2012-2015

Año	Residencial	Comercial	Industrial	Otros	Total
2012	92,584	17,583	3,123	1,837	115,127
2013	95,067	18,242	3,095	1,141	117,545
2014	97,940	18,433	3,013	1,299	120,685
2015	100,483	18,663	2,898	1,382	123,426

Fuente: CENTROSUR. **Elaboración:** El Autor

5.1.3. Energía fósil

5.1.3.1. Combustibles líquidos

Los hidrocarburos líquidos de mayor consumo en la ciudad de Cuenca son: gasolina extra, gasolina súper, diésel Premium, diésel 2 y fueloil. Los tres primeros combustibles son utilizados exclusivamente en el transporte. El diésel 2 también era usado en este sector, pero desde el año 2012 este combustible dejó de distribuirse en las gasolineras del cantón Cuenca. Cabe resaltar que la gasolina extra también es usada en la industria pero su participación es marginal en comparación con el sector transporte, por lo tanto no se considera este consumo. Actualmente el diésel 2 y el fueloil son usados únicamente en la industria y en la generación de energía térmica.

La Tabla 19 presenta los galones de combustibles líquidos que se han consumido en el sector transporte, específicamente en las 25 gasolineras ubicadas en la zona urbana de Cuenca durante el periodo 2002-2015 (ver Figura 21). Se debe señalar que durante este periodo, ocho gasolineras se han ido incorporado al mercado, pasando de 17 en el 2002 a 25 en el 2015. En promedio, el consumo de diésel presenta el mayor crecimiento anual (4.73%), seguido de la gasolina extra (4.12%), y la gasolina súper (2.26%). Mientras que el crecimiento del total de combustibles consumidos durante el periodo 2002-2015, fue del 66.77%. Es decir que en 13 años, el consumo total de hidrocarburos líquidos en la ciudad de Cuenca se ha incrementado en 30,508,614 galones anuales, siendo el diésel y la gasolina extra los energéticos con la mayor tasa de crecimiento total 74.65% y 67.59%, respectivamente. Mientras que el consumo de la gasolina súper durante el mismo periodo tan solo ha crecido 29.58% (Tabla 20).

La gasolina extra es el único combustible que no presenta tasas de variación anual negativas, excepto en el año 2006, presentando un crecimiento constante entre 2002 y 2015. Sin embargo esto no ocurre para la gasolina súper y el diésel, cuya evolución ha tenido altos y

bajos durante el mismo periodo. Puesto que los últimos cinco años el consumo de estos energéticos ha disminuido incluso ha decrecido, particularmente en el caso de la gasolina súper que exhibe tasas de crecimiento anual negativas (Tabla 20). La Figura 29 se puede evidenciar la tendencia de crecimiento que ha experimentado el consumo de combustibles en la ciudad de Cuenca. En unidades energéticas el consumo pasó de 6,000 a 10,000 TJ anuales.

Tabla 19: Consumo de combustibles para transporte (galones) 2002-2015

Año	G. Extra	G. Súper	Diésel	Total
2002	24,184,550	4,203,650	17,303,317	45,691,517
2003	24,308,835	4,747,927	15,373,919	44,430,681
2004	25,664,022	5,098,394	17,174,764	47,937,180
2005	26,373,064	5,373,482	21,714,229	53,460,775
2006	26,122,924	5,332,598	23,852,385	55,307,907
2007	27,254,359	5,393,674	25,496,782	58,144,815
2008	27,921,999	5,426,301	26,345,694	59,693,994
2009	31,476,060	5,971,338	28,267,928	65,715,326
2010	34,441,388	6,573,731	29,616,793	70,631,912
2011	35,078,187	6,852,618	29,579,184	71,509,989
2012	37,997,835	6,268,534	31,102,245	75,368,614
2013	38,052,265	5,468,934	29,453,733	72,974,932
2014	39,339,780	5,417,377	29,643,617	74,400,774
2015	40,531,820	5,447,239	30,221,072	76,200,131

Fuente: ARCH. Elaboración: El Autor

Tabla 20: Tasa de variación anual del consumo de combustibles para transporte

Año	G. Extra	G. Súper	Diésel	Total
2003	0.51	12.95	-11.15	-2.76
2004	5.57	7.38	11.71	7.89
2005	2.76	5.40	26.43	11.52
2006	-0.95	-0.76	9.85	3.46
2007	4.33	1.15	6.89	5.13
2008	2.45	0.60	3.33	2.66
2009	12.73	10.04	7.30	10.09
2010	9.42	10.09	4.77	7.48
2011	1.85	4.24	-0.13	1.24
2012	8.32	-8.52	5.15	5.40
2013	0.14	-12.76	-5.30	-3.18
2014	3.38	-0.94	0.64	1.95
2015	3.03	0.55	1.95	2.42
Promedio	4.12	2.26	4.73	4.10
Total	67.59	29.58	74.65	66.77

Elaboración: El Autor

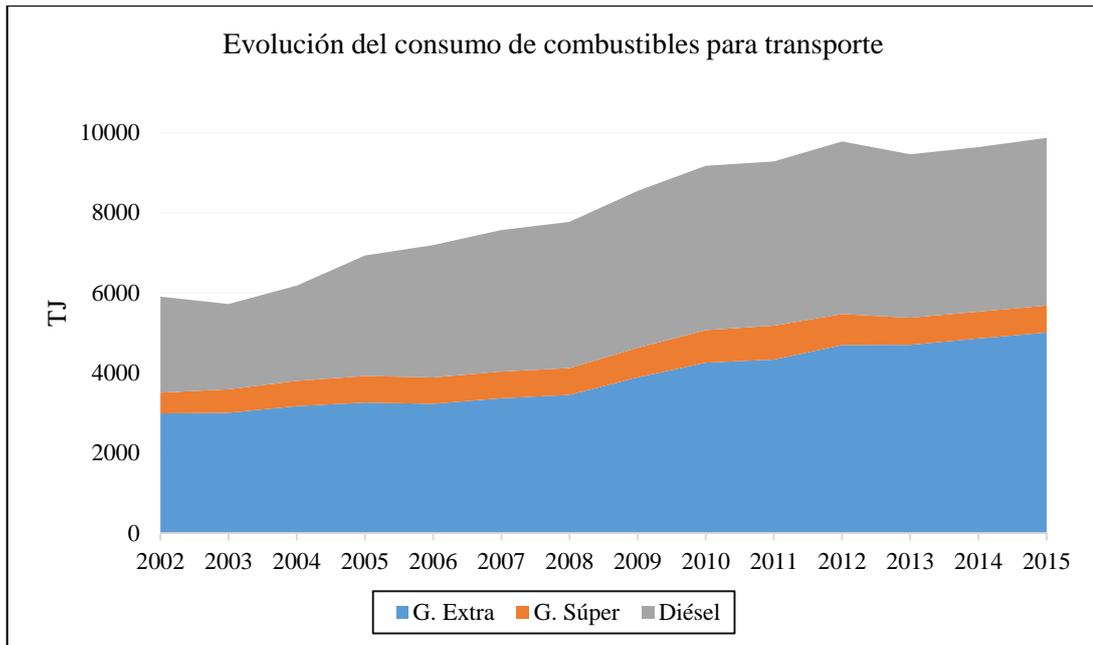


Figura 29: Evolución del consumo de combustibles para transporte
Fuente: ARCH. Elaboración: El Autor

5.1.3.2. Consumo Industrial

En lo que se refiere al consumo de combustibles líquidos por parte del sector industrial, se cuenta con información del volumen anual despachado por industria entre el periodo 2007-2015. Al igual que el consumo del sector transporte, se consideró únicamente las industrias ubicadas en la zona urbana de Cuenca, que en total se contabilizaron 60 industrias para el 2015.

La zona urbana de Cuenca demanda alrededor de 12 millones de galones de combustibles líquidos al año para suplir las necesidades energéticas de la industria. El fueloil es el energético de mayor demanda por parte de este sector, consumiéndose en promedio 7, 139,139 gal/año. Mientras que el consumo de diésel industrial, en promedio es de 4, 858,405 gal/año. Este último presenta una dinámica diferente al fueloil, presentando variaciones importantes durante el periodo de análisis (Figura 30). Por una parte, el consumo de fueloil incrementó el 12.12% entre 2007 y 2015, con una tasa de variación anual promedio del 1.55%. Por otra parte, el consumo de diésel industrial sufrió un incremento del 56.77%,

pasando de 4, 085,254 gal en el 2007, a 6, 404,643 gal en el 2015, con una tasa de variación anual promedio del 7.20%.

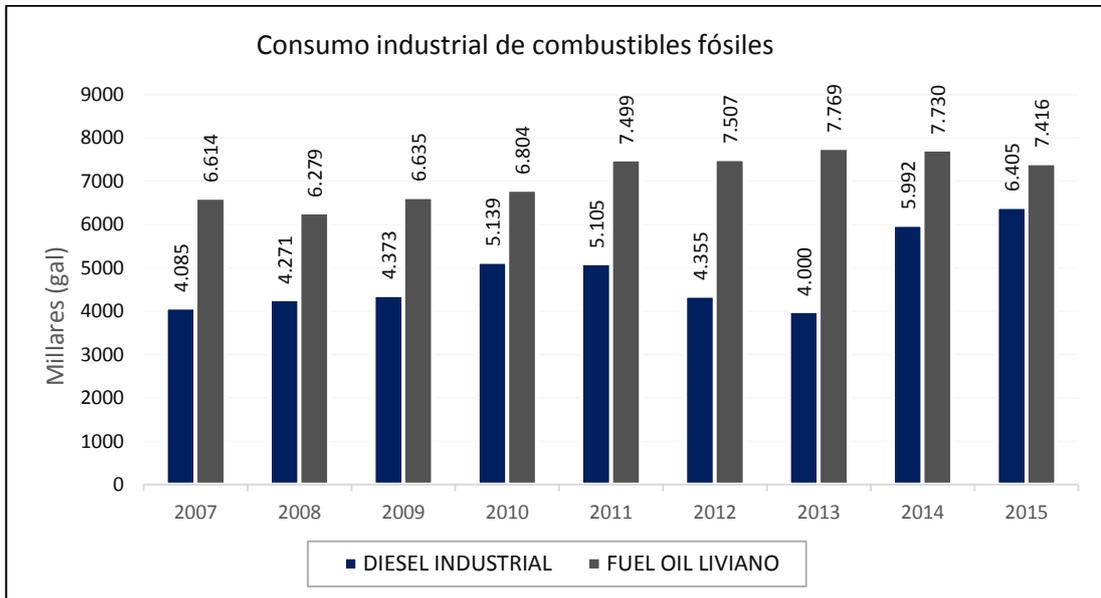


Figura 30: Consumo industrial de combustibles líquidos 2007-2015

Fuente: ARCH. Elaboración: El Autor

5.1.3.3. Combustibles Gaseosos

Los combustibles gaseosos que se utiliza comúnmente en la ciudad de Cuenca son: Gas Licuado de Petróleo (GLP) y el Gas Natural (GN). El GLP es utilizado en el sector doméstico, industrial y comercial, mientras que el GN es utilizado únicamente en el sector industrial. El sector doméstico demanda aproximadamente el 74% de GLP que se distribuye en la ciudad y el 26% restante de GLP es demandado por la industria.

En este caso, el análisis del consumo de GLP, toma en cuenta únicamente la información disponible del año 2007 y 2015, ya que la información histórica anual no ha sido facilitada por cuestiones de tiempo y procesamiento de los datos. Se debe acotar que los datos de consumo del año 2007 corresponden al GLP envasado para distribución en el cantón Cuenca, asumiendo este dato como consumo final. Mientras que el consumo de GLP del año 2015 corresponde a los registros de facturación, en los centros de distribución de GLP de la zona urbana (ver Figura 21).

Para el año 2015, el consumo total de GLP en la zona urbana de Cuenca se estimó en 50,676,380 kg, 7.08% más que el consumo registrado en el año 2007 (47,326,601 kg⁵). Este bajo crecimiento responde al descenso que ha sufrido el consumo de GLP industrial (17.44%), pasando de 15,837,512 kg en el año 2007, a 13,075,029 en el 2015. Por otro lado, el consumo de GLP doméstico ha experimentado un incremento del 19.41%, pasando de 31,489,089 kg en el 2007, a 37,601,351 kg en el 2015. También se debe agregar que el GN comenzó a consumirse por la industria en el año 2011, reemplazando principalmente al GLP industrial y en parte el consumo de fueloil. En la Figura 31 se puede evidenciar el cambio en la matriz de consumo energético del sector industrial entre 2007 y 2015. En términos energéticos, en el 2007 la industria consumió 2,446.35 TJ, de los cuales el 29% provino de la combustión de GLP. En el 2015, este porcentaje bajó al 17%, producto de la incorporación de GN en la industria que para el mismo año tuvo una participación del 13% del consumo total energético industrial (3,330.5 TJ).

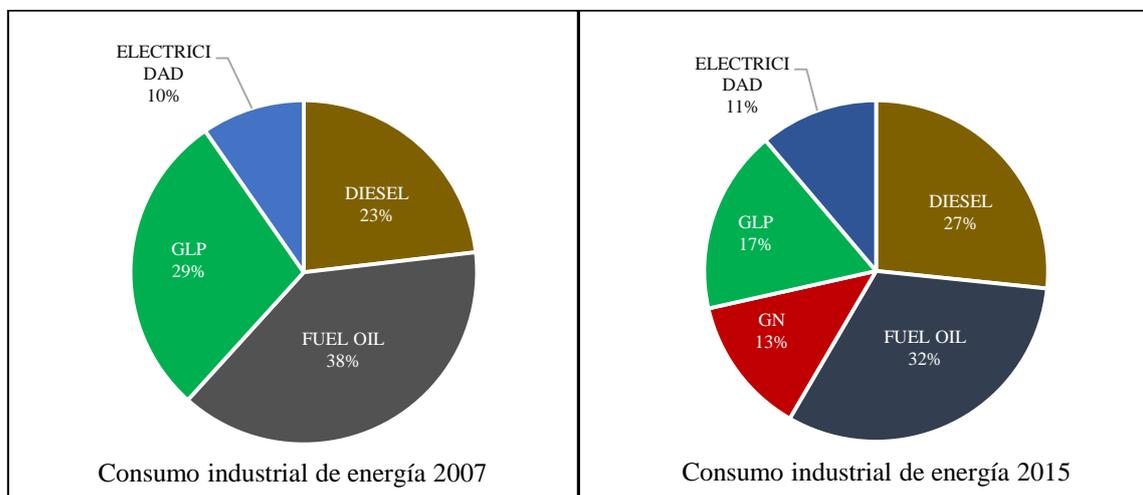


Figura 31: Cambio de la matriz de consumo energético industrial entre el 2007 y 2015.

Fuente: ARCH y CENTROSUR. Elaboración: El Autor

⁵ Cantidad estimada en base al consumo total del cantón Cuenca

5.2. Flujos de salida

5.2.1. Aguas residuales

La planta de tratamiento de aguas residuales de Ucubamba (PTARU) trata aproximadamente el 95% de las aguas residuales generadas por la población urbana y parcialmente de la población periurbana, (ver Figura 23). Actualmente la PTARU recibe un caudal promedio de 1400 l/s, acercándose a la capacidad máxima de tratamiento que es de 1800 l/s.

Debido a que la ciudad de Cuenca dispone de un sistema de alcantarillado combinado, la PTAR Ucubamba recibe las aguas servidas y aguas lluvias procedentes de la ciudad. No obstante, la PTAR cuenta con cámaras de derivación, cuya función es separar los excesos de aguas lluvia y mantener el máximo caudal admisible a la planta. Estas aguas en exceso por lo tanto se descargan a los receptores naturales de agua cercanos (ETAPA EP, 2015).

En la Tabla 20 presenta el volumen de agua residual tratada anualmente y la tasa de variación anual y total durante el periodo 2005-2016. En promedio, el incremento anual que ha experimentado el volumen de aguas residuales tratadas es del 3.60%. Mientras que la variación total es del 40.5%, lo cual corresponde a un volumen de 14,696,825 m³. En el año 2012 se evidencia el mayor crecimiento durante los últimos 11 años (27.05%).

Tabla 21: Producción de aguas residuales 2005-2016

Periodo	Agua Residual tratada (m3)	Tasa de variación (%)
2005	36,297,936	-
2006	35,286,156	-2.79
2007	38,095,488	7.96
2008	38,371,147	0.72
2009	34,303,284	-10.60
2010	36,770,976	7.19
2011	33,869,664	-7.89

2012	43,032,816	27.05
2013	48,504,996	12.72
2014	47,289,747	-2.51
2015	49,644,835	4.98
2016	50,994,761.5 ⁶	2.72
Promedio	41,038,484	3.60
Variación total	14,696,825	40.49

Fuente: Departamento de Planificación ETAPA. Elaboración: El Autor

5.2.2. Emisiones

La información pertinente a emisiones, corresponden a las estadísticas publicadas en los inventarios de emisiones que se han realizado en el cantón. Hasta la fecha Cuenca cuenta con cuatro inventarios de emisiones, el primero estuvo a cargo de la Fundación Natura y la Corporación para el Mejoramiento del Aire (Cuencaire)⁷, año base 2007. Posteriormente se han realizado tres actualizaciones, con año base 2009, 2011 y 2014, todos estos llevados a cabo por la Empresa de Movilidad, Tránsito y Transporte de Cuenca (EMOV EP) y la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Cuenca (Red de Monitoreo de Calidad del Aire, 2016b).

A pesar de que las emisiones atmosféricas se contabilizan a nivel cantonal, la mayor cantidad se generan en la ciudad, debido a que la zona urbana concentra la mayoría de fuentes emisoras del cantón, particularmente emisiones de fuentes móviles y estacionarias. En la Figura 34 demuestra la distribución espacial de emisiones de los contaminantes considerados, durante el año 2007, evidenciándose una importante participación de la zona urbana.

En base a la información disponible del inventario de emisiones del cantón Cuenca, año base 2007, se estimó la cantidad de contaminantes emitidos en la ciudad, de acuerdo a la distribución espacial de emisiones en la zona urbana y su periferia. Se consideraron únicamente las emisiones provenientes de las fuentes inscritas en el área mencionada. Como

⁶ Volumen proyectado en base a la información oficial disponible hasta el 06 de octubre del año 2016.

⁷ Cuencaire ejercía la fiscalización del proceso de Revisión Técnica Vehicular (RTV) y funciones de la operación de la Red de Monitoreo en el cantón Cuenca. En el año 2010 fue liquidada trasladando sus competencias a la EMOV EP.

resultado de esta delimitación se obtuvo que la ciudad es responsable del 79% de las emisiones contaminantes producidas en el cantón. De manera desagregada, el CO, NO_x y SO₂ son los contaminantes que mayor se emiten en la zona urbana con el 90%, 72% y 70% respectivamente, no muy lejos le sigue COVs (57%), PM_{2,5} (51%) y PM₁₀ (39%). Sin embargo, este tipo de aproximación no se ha realizado para los últimos inventarios, pues la información que se requiere, no se encuentra disponible. Por lo tanto, el análisis a continuación corresponde a las emisiones totales del cantón Cuenca.

En la Tabla 22 y la Figura 32 se puede notar que las emisiones tanto de GEI como emisiones contaminantes han incrementado entre el periodo 2007 - 2014, excepto las emisiones de SO₂ que pasó de 2,123 ton en el año 2007, a 1,697 ton en el 2014, lo cual resulta en un decrecimiento del 20%. Mientras que las emisiones de PM₁₀, N₂O y CO presentan los mayores crecimientos: 82%, 53% y 50%, respectivamente. Estos incrementos son directamente proporcionales con el aumento del parque automotor, específicamente con el CO y el N₂O. Para el año 2014, se registraron 147,454 vehículos, representando un incremento del 50% de la flota vehicular de Cuenca, respecto al año 2007 (Red de Monitoreo de Calidad del Aire, 2016b).

El gran incremento de las emisiones de PM₁₀, obedece principalmente al crecimiento del parque automotor y en parte por el incremento en las emisiones en las ladrilleras (ubicadas al norte de la ciudad), cuyas fuentes son responsables del 80% de las emisiones de PM₁₀. Por ejemplo, el tráfico vehicular pasó de generar 331 ton de PM₁₀ en el año 2007, a 800 ton en el 2014. Mientras que las emisiones de ladrilleras, pasó de 122 ton de PM₁₀ en el año 2007, a 353 ton en el 2014.

Por otra parte, si se considera las variaciones entre cada inventario, hay emisiones que también han sufrido reducciones. Esto ocurre con las emisiones de CH₄ (8%), NO_x (7%), y CO (7%), entre 2007 y 2011. Asimismo, las emisiones de CO₂ (1%) y NO_x (21%), entre 2011

y 2014. Estas variaciones negativas, en algunos casos responden al descenso de las emisiones de un sector en particular. Por ejemplo, en el año 2014 se emitieron 20,496 ton de CO₂ menos, respecto al 2011. Esto se justifica por el descenso en las emisiones de CO₂ en el sector industrial y en el sector de GLP doméstico, debido a que disminuyeron su consumo de combustibles (36% en la industria y 23% en GLP doméstico)⁸. A pesar que el sector transporte (responsable de aproximadamente el 60% de las emisiones de CO₂) haya incrementado sus emisiones de CO₂ en 74,414 ton, respecto al 2011.

Lo anterior indica que, para el año 2014 Cuenca emitió 1, 511,015.2 ton de CO₂-eq, incremento del 40%, respecto al 2007, siendo el transporte, la industria, y el GLP doméstico las principales fuentes de GEI. En cuanto a emisiones contaminantes para el 2014 se emitieron un total de 89,153 ton, 41% más respecto al 2007 (Figura 32).

Tabla 22: Emisiones cantón Cuenca 2007-2014

AÑO	Gases de efecto invernadero (t.a ⁻¹)				Contaminantes primarios (t.a ⁻¹)					
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂ eq.	NOx	CO	COVs	SO ₂	PM ₁₀	PM _{2,5}
2007	963,317	4,051	52.7	1,080,293	7,924	40,933	10,504	2,123	789	-
2009	1,072,652	3,734	68.8	1,186,497	7,384	37,959	11,137	1,665	1,099	858
2011	1,392,930	4,046	76.2	1,516,792	10,685	40,634	13,656	2,091	981	854
2014	1,372,434	4,585	80.4	1,511,015	8,402	61,398	15,310	1,697	1,439	907

Fuente: (Fundación Natura et al., 2009; Red de Monitoreo de Calidad del Aire, 2011, 2013, 2016b).
Elaboración: El Autor

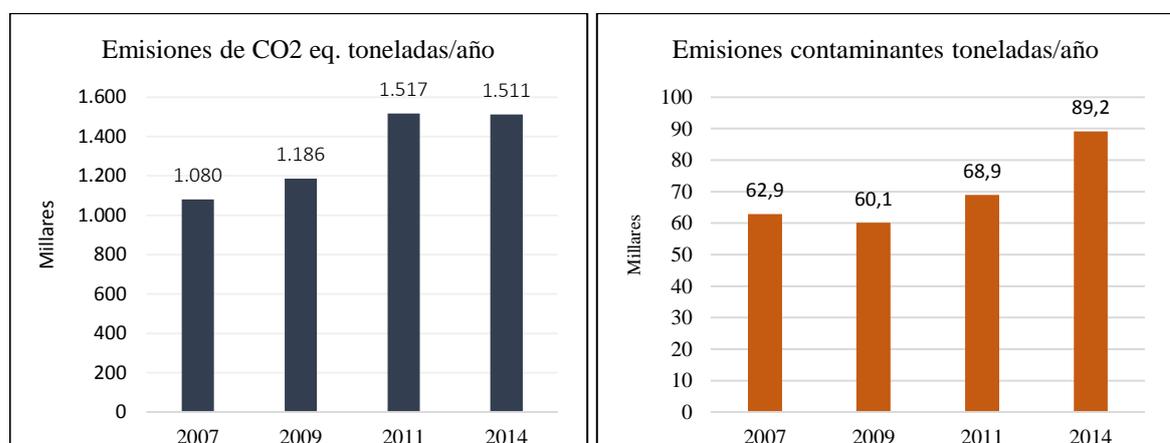


Figura 32: Evolución de las emisiones de GEI y contaminantes en el cantón Cuenca

Fuente: (Fundación Natura et al., 2009; Red de Monitoreo de Calidad del Aire, 2011, 2013, 2016b).
Elaboración: El Autor

combustibles fósiles y aumentado su consumo de combustibles gaseosos, mientras que los datos de GLP doméstico muestran un decrecimiento en este sector.

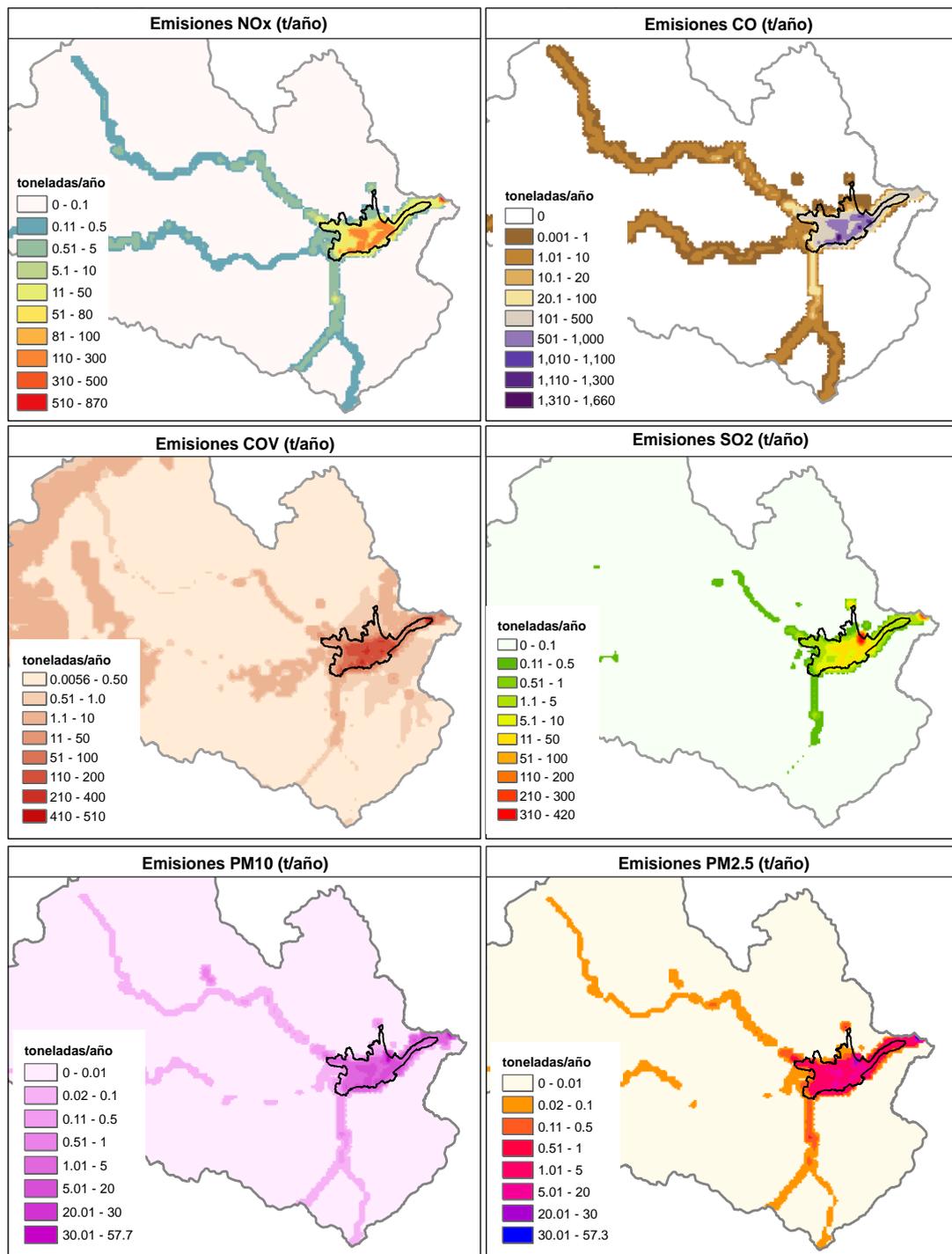


Figura 33: Distribución espacial de las emisiones de contaminantes primarios en el cantón Cuenca
Fuente: (Fundación Natura et al., 2009). Elaboración: El Autor

5.2.3. Residuos Sólidos

La gestión de residuos sólidos en la ciudad de Cuenca está a cargo de la empresa EMAC EP, cuya cobertura de recolección es del 100% para la zona urbana y del 73% en la zona rural,

(ver Figura 24). Además de ofrecer servicios de recolección y disposición final de residuos sólidos, también tiene a cargo actividades como reciclaje, manejo de residuos sólidos peligrosos, barrido y limpieza de espacios públicos, producción de humus y compost, gestión de escombros, y mantenimiento de áreas verdes (EMAC EP, 2016).

Los desechos sólidos tanto de la zona urbana y rural de Cuenca son dispuestos en el relleno sanitario Pichacay. Además, la empresa EMAC también ofrece el servicio de disposición final a cantones como Deleg, Guachapala y Sigsig. La mayor parte de los residuos que llegan al relleno son de origen doméstico (72.64%), le sigue de muy lejos los residuos de mercados (10.54%), residuos de convenios (8.98%) y residuos de industrias (5.30%) (Tabla 23). Los residuos de origen domésticos corresponden a los residuos recolectados por vehículos de carga posterior, por lo tanto, también incluyen residuos de establecimientos económicos que reciben este servicio. Los residuos de mercados e industrias se consideran a los residuos recolectados por vehículos de carga frontal. Los residuos de origen industriales, no solo incluyen residuos industriales, sino también residuos provenientes de centros comerciales, unidades educativas, incluso residuos domiciliarios. Lo mismo ocurre con los residuos de mercados que contienen mezclas de residuos industriales y de otros grandes generadores. Por lo tanto, de aquí en adelante los residuos de origen industrial y mercados, se considera en la categoría “industrial y comercial”

Los desechos de reciclaje (0.21%), representan los residuos de recolección diferenciada y que son destinados a la planta de reciclaje El Chorro, cuyo pesaje se realiza en el bascula del relleno Pichacay. Por esta razón, no considera la cantidad de residuos destinados a las plantas de reciclaje ARUC y AREV. Respecto a los desechos biopeligrosos (0.44%), los cuales se recolectan desde el año 2014, provienen principalmente de hospitales, clínicas, centros de salud y veterinarias. A diferencia de los residuos sólidos comunes que se disponen en el relleno, estos reciben un tratamiento de esterilización antes de su tratamiento final en el

relleno. Se debe agregar también que los desechos de convenios pertenecen a los cantones antes nombrados y empresas municipales, como también a grandes industrias; Cartopel, Graiman, Lácteos San Antonio, entre otros.

Tabla 23: Residuos sólidos recolectados discriminados por su origen año 2016

Descripción	Total (ton)	%
Domicilios	104,058.4	72.64%
Mercados	15,099.4	10.54%
Convenios	12,870.2	8.98%
Industrias	7,591.7	5.30%
Particulares	2,693.9	1.88%
Biopeligrosos	636.5	0.44%
Reciclaje	295.2	0.21%
Total	143,245.4	100.00%

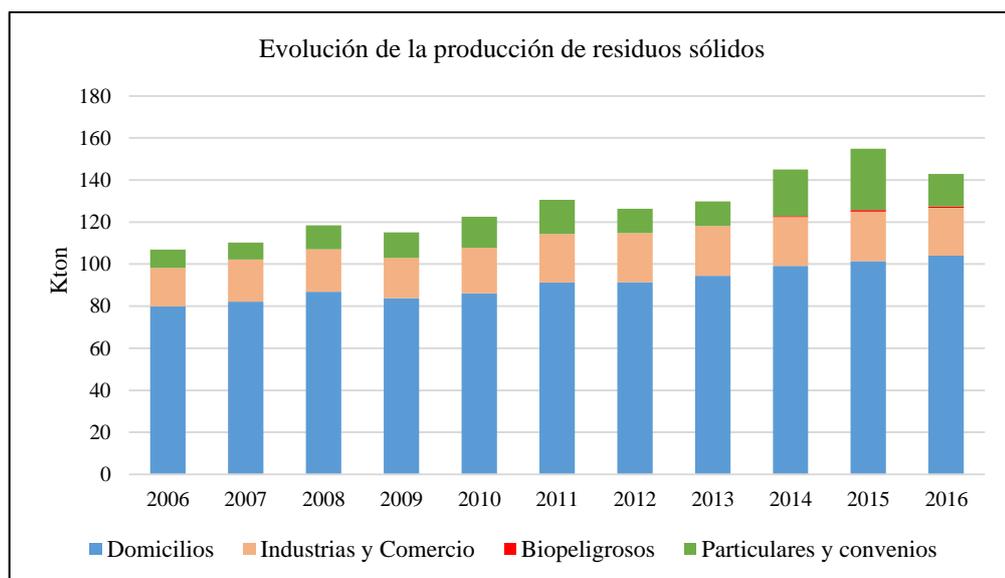
Fuente: EMAC. **Elaboración:** El Autor

En la Tabla 24 y Figura 34 se pone a consideración la evolución en la producción anual de residuos sólidos en la ciudad de Cuenca, desagregados por su origen, y que tienen un tratamiento final en el relleno sanitario Pichacay, durante el periodo 2006 - 2016. El promedio anual de residuos sólidos dispuestos en el relleno es de 127,506 ton/año. La tasa de variación anual promedio, es del 3.11%, esto significa un crecimiento de 3,605 toneladas de desechos cada año. La generación de residuos sólidos en el sector domiciliario, ha incrementado constantemente, con una tasa promedio anual de 2.73% (3,248 ton/año). Este sector es el que mayor ha incrementado la producción de residuos sólidos durante el periodo de análisis (30.39%), pasando de 79,802 ton en el año 2006, a 104,058 ton en el 2016. El sector industrial y comercial producen en promedio 21,736 ton/año, y su incremento entre el 2006-2016 ha sido del 23.10%. La producción de residuos biopeligrosos alcanzó 636 toneladas en el año 2016, representando un incremento del 85.4%, respecto al 2014.

Tabla 24: Residuos sólidos recolectados discriminados por su origen 2006-2016

Año	Domicilios	Industrias y Comercio	Biopeligrosos	Particulares y convenios	Total
2006	79,802.5	18,433.2	0	8,657.7	106,893.4
2007	82,144.2	20,044.5	0	7,980.2	110,168.9
2008	86,903.0	20,077.0	0	11,391.3	118,371.3
2009	83,826.7	19,155.7	0	12,052.1	115,034.5
2010	86,039.6	21,711.1	0	14,849.3	122,600.0
2011	91,257.2	23,074.8	0	16,187.3	130,519.3
2012	91,435.8	23,326.3	0	11,571.9	126,334.0
2013	94,384.0	23,784.9	0	11,644.5	129,813.4
2014	99,145.4	23,286.4	343.1	22,231.2	145,006.1
2015	101,491.4	23,516.2	699.8	29,177.7	154,885.1
2016	104,058.4	22,691.1	636.0	15,564.1	142,949.6

Fuente: EMAC Elaboración: El Autor

**Figura 34:** Evolución de la producción de residuos sólidos 2006-2016

Fuente: EMAC

5.2.3.1. Reciclaje y Compost

La cantidad de residuos inorgánicos aprovechados para comercialización⁹ aumento el 205.53%, durante el periodo 2009-2015 (Figura 35). Los principales materiales que

⁹ Incluye los residuos de reciclaje recolectados por EMAC EP y los recolectados por recicladores independientes.

componen los residuos de reciclaje comercializable son: metales, cartón, papel, plástico y vidrio (Figura 36). Mientras que los residuos orgánicos aprovechados para compostaje incrementó de 2,089.8 ton en el año 2008, a 3,401.2 ton en el 2015, lo cual significa un aumento del 62.75%. Adicionalmente si se suman los residuos de áreas verdes¹⁰ que también ingresan a la planta de compostaje, el incremento sería del 138% (Figura 37).

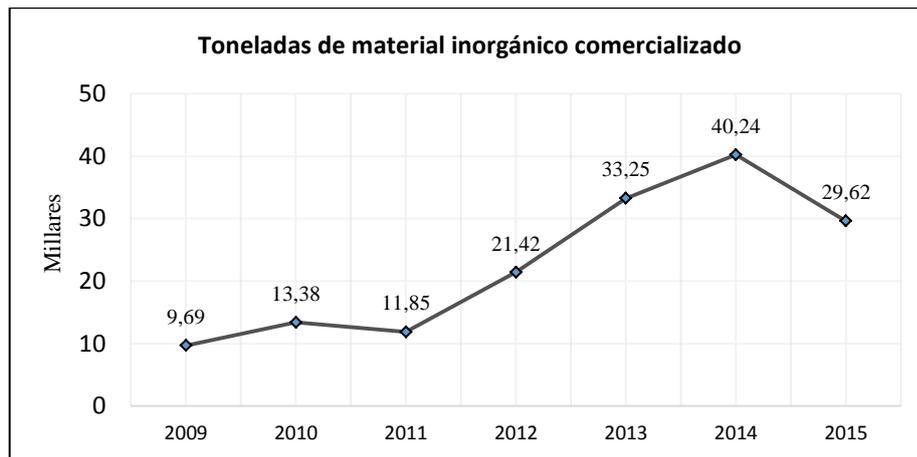


Figura 35: Material inorgánico reciclado 2009-2015
Fuente: EMAC Elaboración: El Autor

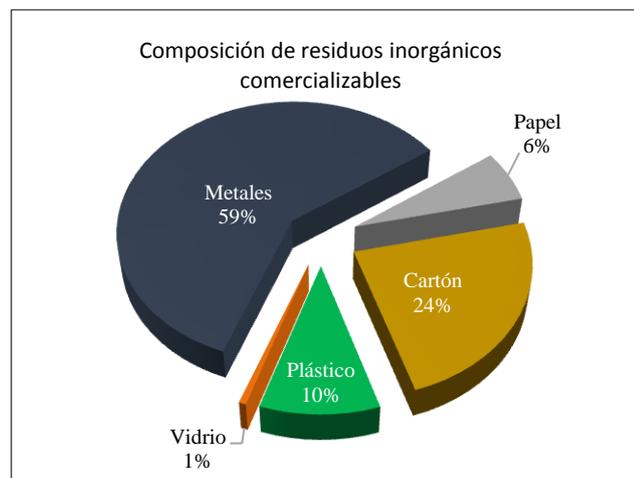


Figura 36: Composición de residuos inorgánicos comercializables
Fuente: EMAC. Elaboración: El Autor

¹⁰ Contempla las podas de pastos, ramas, viruta y arena.

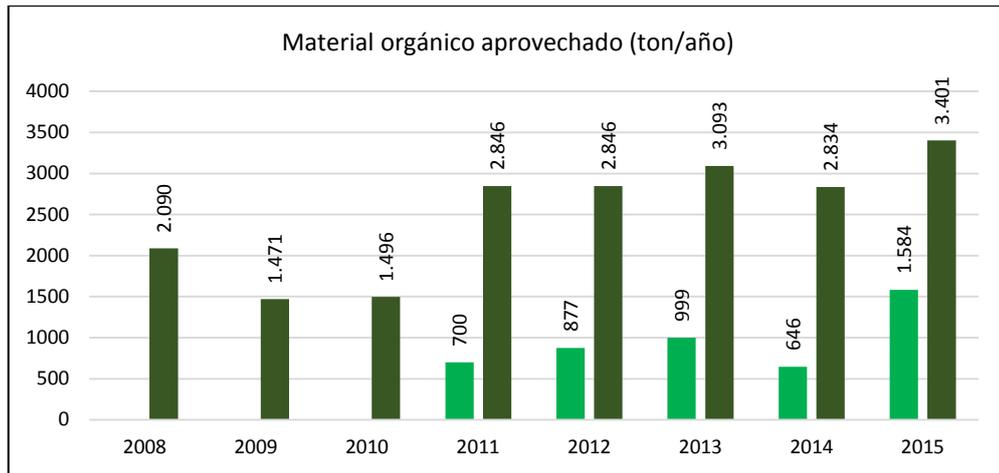


Figura 37: Material orgánico aprovechado en compostaje 2008-2015
Fuente: EMAC. Elaboración: El Autor

Respecto a la composición física de los residuos urbanos que se disponen en el relleno, la materia orgánica representa el 64.39%, plástico (blando y rígido) el 10.46%, desechos higiénicos el 9.61%, y papel y cartón el 6.3%; siendo estos los materiales más importantes en la composición típica de los residuos urbanos que sumados representan el 90%.

De acuerdo a la información histórica, la materia orgánica siempre ha predominado la composición de los residuos sólidos, ya que desde 1985, su variación ha sido mínima, pasando de 61.9% en 1985, a 64.39% en el 2015. Sin embargo, en el caso del plástico, sí se evidencia variaciones importantes. Por ejemplo, entre 1985 a 2001, el plástico varió su representatividad de 4.6%, a 14.96%. No obstante, en la actualidad este porcentaje ha bajado al 10.46%, siendo el reciclaje la principal causa de este descenso (Tabla 25).

La composición de los residuos sólidos urbanos en una ciudad demuestra de alguna manera los patrones de consumo, la cultura y estrato económico de una sociedad (Denafas et al., 2014). Por lo tanto, la variación en la composición de los residuos sólidos urbanos de Cuenca refleja la evolución en los patrones de consumo y el nivel socioeconómico de su población, como también la cultura de reciclaje que se ha intensificado en los últimos años.

Tabla 25: Evolución en la composición típica de los residuos sólidos urbanos

Composición (%)	1985	1990	1995	2001	2007	2012	2015
Materia Orgánica	61.9	62.94	67.81	53.8	54.49	60.7	64.39
Papel y cartón	7.4	13.57	11.25	7.55	8.88	5.52	6.3
Metales	1.4	1.22	1.7	1.12	1.59	1.07	0.94
Plástico (blando y rígido)	4.6	3.99	5.61	14.96	11.34	13.33	10.46
Caucho	0.2	0.12	0.96	0.48	0.47	0.52	0.16
Materia Inerte	12.8	10.73	3.4	9.03	0.08	1.44	0.26
Vidrio	1.6	2.47	1.65	2.22	3.1	2.53	2.23
Madera	0.8	0.92	0.4	0.27	0.5	0.26	0.34
Textiles	1.9	1.7	1.19	1.54	2.79	1.8	1.92
Desechos higiénicos	3.3	-	-	6.97	14.46	11.3	9.61
Tetrapack	-	-	-	-	0.6	0.58	1.94
Otros	4.1	2.34	6.03	2.06	1.7	0.85	1.46

Fuente: EMAC. Elaboración: El Autor

5.3. Indicadores per-cápita

En esta sección se analiza la intensidad del metabolismo urbano de la ciudad de Cuenca, mediante indicadores per-cápita. La Tabla 26 muestra el valor per-cápita para el año 2007 y 2015, poniendo en consideración, la variación de los distintos flujos metabólicos estudiados, en un periodo de ocho años. La mayoría de indicadores per-cápita representa la relación entre la cantidad del flujo metabólico y la población urbana de Cuenca. Sin embargo, algunos valores per-cápita fueron establecidos con la población cantonal, ya que la información a nivel urbano no está disponible.

El valor per-cápita de la producción y consumo de agua potable, son indicadores que se calcularon en base al volumen de agua y la población cantonal beneficiada¹¹. Asimismo, la producción de residuos sólidos, cuya cantidad total, es recolectada en la zona urbana y zonas rurales cercanas a la ciudad, por lo tanto la población beneficiada corresponde a la estimada en base a la cobertura de recolección. Mientras que los indicadores correspondientes a

¹¹ Población que abarca la mayoría de la población urbana y parcialmente la población periurbana y rural de Cuenca, cuya demanda es cubierta por las PTAPs El Cebollar y Tixán.

residuos de reciclaje orgánicos e inorgánicos, se calcularon con la población de la zona urbana, ya que estos se recolectan en su mayoría en esta zona. El valor per-cápita de emisiones está estimado en base a la población total del cantón Cuenca. Los indicadores per-cápita de energía tanto eléctrica como fósil están establecidos en base a la población de la zona urbana.

Tabla 26: Indicadores per-cápita de los flujos metabólicos ciudad de Cuenca

Periodo	2007	2015	Unidades	Variación (%)
Población Urbana	313,450	381,201	Habitantes	21.61
ENTRADAS				
Producción de agua	278	256	lt/hab/día	-7.91
Consumo de agua	199	193	lt/hab/día	-3.02
Consumo de energía (total)	38.54	42.06	GJ/hab/año	9.13
Energía eléctrica	2.89	4.04	GJ/hab/año	39.79
Energía eléctrica	802 ^a	1121	kWh/hab/año	39.78
Energía fósil	35.65	38.03	GJ/hab/año	5.35
Gasolinas	12.87	14.90	GJ/hab/año	15.77
Diésel	13.07	13.31	GJ/hab/año	1.84
Fueloil	3.01	2.77	GJ/hab/año	-7.81
GLP	6.69	5.89	GJ/hab/año	-11.95
Gas Natural	0.00	1.14	GJ/hab/año	-
SALIDAS				
Aguas Residuales	333	357	lt/hab/día	7.21
Emisiones CO ₂ -eq	2.29	2.60 ^b	ton/hab/año	13.53
CO	85.42	108.54 ^b	kg/hab/año	27.07
SO ₂	4.43	3.00 ^b	kg/hab/año	-32.28
NOX	16.54	14.86 ^b	kg/hab/año	-10.14
PM	2.79	2.55 ^b	kg/hab/año	-8.74
Residuos sólidos (total)	0.7	0.8	kg/hab/día	14.29
Reciclaje (inorgánicos)	30.9 ^c	77.7	kg/hab/año	151.46
Reciclaje (orgánicos)	6.7 ^d	13.1	kg/hab/año	95.52

Nota:

^a Valor calculado con el porcentaje consumido en la zona urbana entre 2012-2015 del total consumido en la Zona de Planificación 6 en el año 2007, y la población estimada para ese año.

^b Dato del año 2014

^c Dato del año 2009

^d Dato del año 2008

Elaboración: El Autor

5.4. Discusión

5.4.1. Agua potable y aguas residuales

La intensidad metabólica en la producción de agua potable ha disminuido ligeramente, la oferta de agua potable ha pasado de 278, a 256 lt/hab/día. Esto se ve justificado principalmente por la disminución en las pérdidas de conducción del agua. En el año 2007, el IANC registró 28,35%, y en el 2015 alcanzó el 24.55%. El IANC de Cuenca es uno de los más bajos en Ecuador y Latinoamérica. Está por debajo del Distrito Metropolitano de Quito, que alcanzó el 29.54% en el 2014, y de Guayaquil que registró 59% en el 2012 (Malo, 2015). Mientras que en Latinoamérica, ciudades de Colombia como Cúcuta presenta un IANC del 54,16%, Cartagena del 38.55% y Pasto del 42.14 %. En Costa Rica, la ciudad de Heredia con el 38.43%, y en Perú, la ciudad de Puno con un 18.03% (ADERASA, 2013). Evidentemente la ciudad de Cuenca presenta excelentes niveles de eficiencia en la distribución del agua, ya que según la metodología de la Iniciativa de Ciudades Emergentes y Sostenibles (ICES), mantener IANC bajo el 30% es óptimo (BID, 2013).

La intensidad en el consumo final de agua también ha experimentado un leve descenso de 199, a 193 lt/hab/día. Este valor per-cápita se mantiene dentro de un rango sostenible según la metodología ICES (120-200 lt/hab/día), el cual es óptimo para ciudades que brindan el servicio a casi el 100% de sus habitantes. Pero sobrepasa en casi el doble la recomendación de la Organización Mundial de la Salud (OMS), la cual ha establecido 100 lt/hab/día (WHO, 2003), como el volumen necesario para una persona¹². Comparado con otras ciudades de Latinoamérica, el consumo per-cápita de agua potable de Cuenca rebasa ligeramente el promedio, 187 lt/hab/día (Figura 38). Por otro lado, la intensidad de consumo de agua

¹² Incluye consumo para beber, cocinar, higiene personal, como también consumo en actividades de agricultura, industria, comercio, entre otras

aumenta considerablemente para ciudades de países desarrollados, tales como Vancouver, Canadá (554 lt/hab/día) y Londres, Inglaterra (324lt/hab/día) (Alfonso et al., 2014).

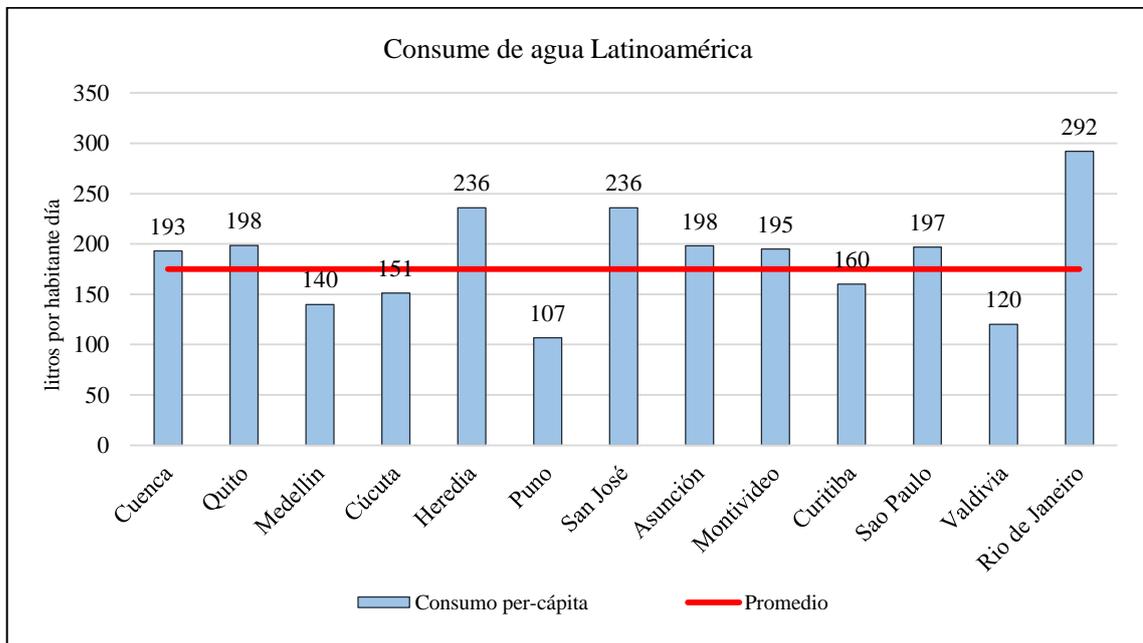


Figura 38: Consumo de agua per-cápita de ciudades Latinoamericanas
Fuente: BID, (ADERASA, 2013). Elaboración: El Autor

En varios estudios de metabolismo urbano los flujos de agua que entran y salen del sistema urbano muestran una intensidad similar, ya que el volumen de agua que entra a la ciudad, y una vez utilizada para diferentes propósitos, es devuelto con una alta carga contaminante. En el caso de la ciudad de Cuenca el volumen per-cápita de aguas residuales (357 lt/hab/día) es sensiblemente superior al valor per-cápita de producción de agua potable (256 lt/hab/día), para el año 2015. Esto se debe a que el volumen de aguas residuales tratadas incluye un gran porcentaje de aguas lluvias que recolecta el sistema de alcantarillado. El aporte de aguas residuales por persona ha experimentado un incremento del 7.21%. En parte, se justifica al incremento de la cobertura del sistema de alcantarillado que pasó de 88,70 % en el 2007, al 95% en el 2015.

5.4.2. Energía y emisiones

El metabolismo energético, ha crecido sustancialmente. El consumo total de energía per-cápita incrementó un 9.13%, de 38.54, a 41.06 GJ/hab/año, cuyos valores sobrepasan el consumo per-cápita del Ecuador (35.44 GJ/hab/año)¹³, año 2014 (MICSE, 2015). Mientras que el promedio mundial es de 75 GJ/hab/año (Alfonso et al., 2014). Este alto consumo energético por habitante está influenciado básicamente por la intensidad del sector transporte (25.9 GJ/hab/año) año 2015, el cual concentra el 63% del consumo total de energía (16,036 TJ). El 37% restante se divide en el sector industrial con el 21%, el sector doméstico con el 14%, y por último el sector comercial con tan solo el 2% (Figura 39). Los energéticos de mayor demanda son las gasolinas y el diésel, que juntos abastecen el 67% de la demanda energética de la ciudad, mientras que la electricidad solo aporta con el 10%. Es decir, que la principal fuente de energía proviene de la quema de combustibles fósiles (gasolinas, diésel, fueloil, GLP y GN) que sumados representan el 90% del consumo total. Un escenario muy similar frente a la estructura de consumo por fuente energética del Ecuador (Figura 40).

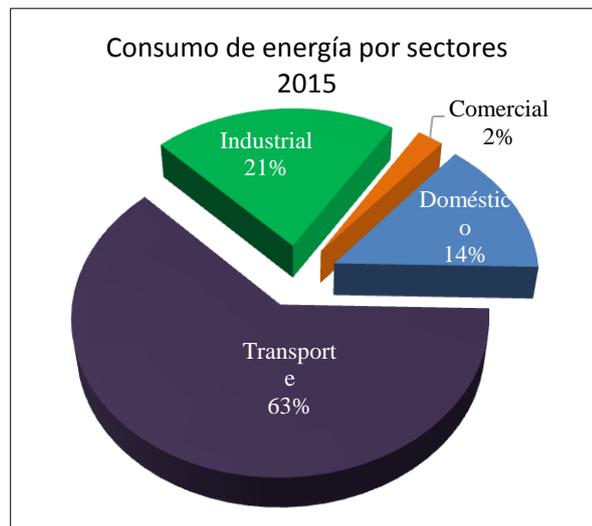
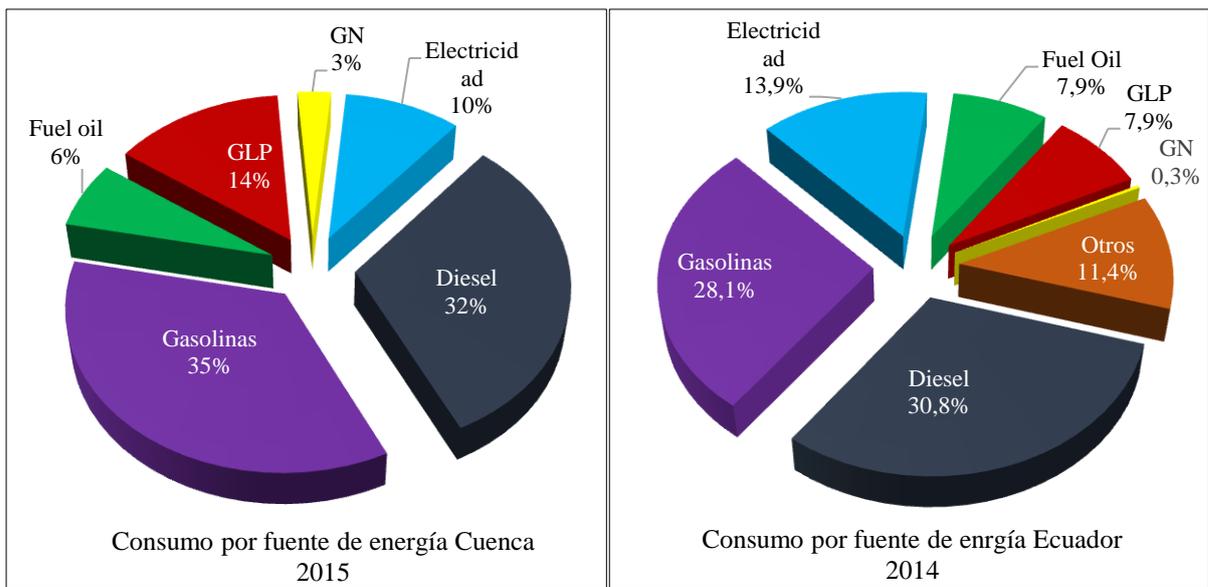


Figura 39: Consumo de energía por sectores 2015
Fuente: ARCH y CENTROSUR. Elaboración: El Autor

¹³ Incluye el consumo del sector: transporte, residencial, industrial, comercial y sector público, agropecuario, minería, consumo propio, y otros sectores.



Nota: "Otros" considera fuentes como el kerosene, leña, productos de caña, petróleo, y fuentes no energéticas

Figura 40: Comparativa de la estructura de consumo por fuente energética entre Cuenca y Ecuador
Fuente: ARCH, CENTROSUR, (MICSE, 2015). Elaboración: El Autor

Considerando el consumo de energía per-cápita del 2007, Cuenca supera 1.5 veces el consumo per-cápita de Bogotá (26.03 GJ año 2010) (Alfonso et al., 2014), 1.6 veces el de Sao Paulo (24.5 GJ, año 2010) (Delgado, 2013), y se aproxima al consumo per-cápita de Curitiba, Brasil (43.53 GJ año 2010) (Conke et al., 2015). El bajo consumo per-cápita en Bogotá y Sao Paulo, podría estar relacionada significativamente, entre otros factores, con su alta densidad poblacional¹⁴, 19,190 y 7,406 habitantes por km², respectivamente. En cambio, Cuenca y Curitiba, presentan una densidad poblacional muy baja, 4,701 y 4,027 habitantes por km², respectivamente, lo cual justifica en parte, el alto consumo de energía. Indudablemente, la magnitud del consumo de energía per-cápita también depende de otras variables como la calidad del transporte público, el número de vehículos por habitante, la eficiencia de combustión móvil y estacionaria, el tramado urbano, entre otras (Facchini et al., 2016).

¹⁴ La relación entre densidad poblacional y consumo de energía ha sido estudiada por Facchini et al., (2016) tomando como referentes a 26 megaciudades de diferentes continentes. Los resultados de este estudio demostraron que existe un coeficiente de correlación de 0.74 entre las variables: consumo per-cápita y densidad poblacional.

Además, el alto consumo energético es el resultado de una ciudad dependiente de medios motorizados para trasladarse a los destinos de rutina (trabajo, establecimientos educativos, compras etc). De acuerdo a la encuesta de aspectos Urbanos realizada en 280 viviendas en las parroquias urbanas de Cuenca, el 85% de los habitantes urbanos de Cuenca utilizan medios motorizados (45% transporte público, 30% vehículos particular, 7% taxi, 2% buseta, y 1% moto). Mientras que el 15% restante se moviliza por medios no motorizados (3.4% bicicleta y 12.6% camina) (Quesada et al., 2016). El transporte público ha disminuido su participación a causa del aumento del transporte en automóviles. En 1992 el 58% de la población se movilizaba por medio del transporte público, mientras que el 20% se movilizaba en vehículos privados y taxis (Sander et al., 2015). Consecuentemente, el aumento en el consumo per-cápita de gasolinas se ha elevado considerablemente (15.77%), de 12.87 GJ a 14.90 GJ, mientras que el consumo per-cápita de diésel para transporte ha disminuido levemente, pasando de 11.3 GJ a 10.9 GJ (entre 2007-2015).

En los últimos 6 años el aumento del parque automotor de la ciudad de Cuenca promedia una tasa de crecimiento anual del 5.24%, tasa que supera al crecimiento de la población urbana (2.93%). Según la publicación del BID (2014) la tasa de motorización en Cuenca llegó a 0.33 vehículos por persona, siendo una de las más altas de Latinoamérica y El Caribe y la más alta en el Ecuador. Por ejemplo, en Xelajú la tasa de motorización apenas se ubica en 0.03, en Asunción 0.067, en Valdivia 0.18, y en San Jose 0.25, por citar algunos casos de ciudades intermedias Latinoamericanas (BID, 2015a).

El flujo de salida asociado al consumo de energía se expresa en emisiones, cuya composición comprende una amplia gama de gases, aerosoles y sólidos, los cuales son responsables del deterioro de la calidad del aire urbano. La intensidad de emisiones contaminantes primarios (CO, NO_x, SO₂ y PM), ha crecido el 10%, pasando de 115, a 127 kg/hab/año. Uno de los gases contaminantes de mayor intensidad es el CO con 108

kg/hab/año, el cual también ha crecido considerablemente (27%), respecto al año 2007, siendo el tráfico vehicular la principal fuente de emisión de CO (95%). Si se compara a nivel nacional, el aporte de CO por persona es el más alto en Ecuador, superado únicamente por la ciudad de Quevedo, cuya intensidad se le atribuye a la central térmica Quevedo, la cual es una de las más grandes del Ecuador (MAE, 2014). Por otro lado, es importante destacar que el único contaminante que ha decrecido en valor bruto y per-cápita es el SO₂. Pues la principal razón ha sido la reducción del contenido de azufre en los combustibles¹⁵. Además la calidad del aire en la ciudad presenta en ciertos casos preocupantes niveles de contaminación en lo que se refiere a emisiones de PM₁₀, pues es el único contaminante que supera los límites permisibles establecidos por la OMS.

Las emisiones per-cápita de GEI (CO₂-eq) han pasado de 2.29, a 2.60 ton/hab/año, lo cual resulta en un incremento del 13,53%. El sector transporte es el responsable de aproximadamente el 60% de emisiones de GEI, seguido de la industria (20%), el sector doméstico (15%) y otros (5%). A nivel nacional, Cuenca es una de las ciudades con mayor emisión per-cápita de CO₂-eq, solo está por debajo de ciudades que dentro de su jurisdicción emplazan refinerías de petróleo, grandes centrales térmicas y fábricas de cemento. En el contexto regional, Cuenca supera levemente el promedio de Sudamérica y está muy por debajo del promedio mundial. Como se puede apreciar en la Figura 41 ciudades como Xelujú, Guatemala, Vitória, Brasil y Santiago de los Caballeros (AMSC), Republica Dominicana que tienen similar población a Cuenca presentan los más altos niveles de emisiones de CO₂-eq en Latinoamérica.

¹⁵ Para el año 2008 el contenido medio de azufre en la gasolina extra fue de 1000 ppm, y en el diésel fue de 4500 ppm. Actualmente, el límite máximo permitido de azufre en las gasolinas es de 650 ppm y 500 ppm para el diésel (MAE, 2014). En Cuenca para el año 2015, las concentraciones medias en la gasolina extra fue de 67.8 ppm y en la gasolina súper fue de 59.9 ppm, el diésel premium también presentó un bajo contenido de azufre respecto a la normativa (135 ppm) (Red de Monitoreo de Calidad del Aire, 2016a)

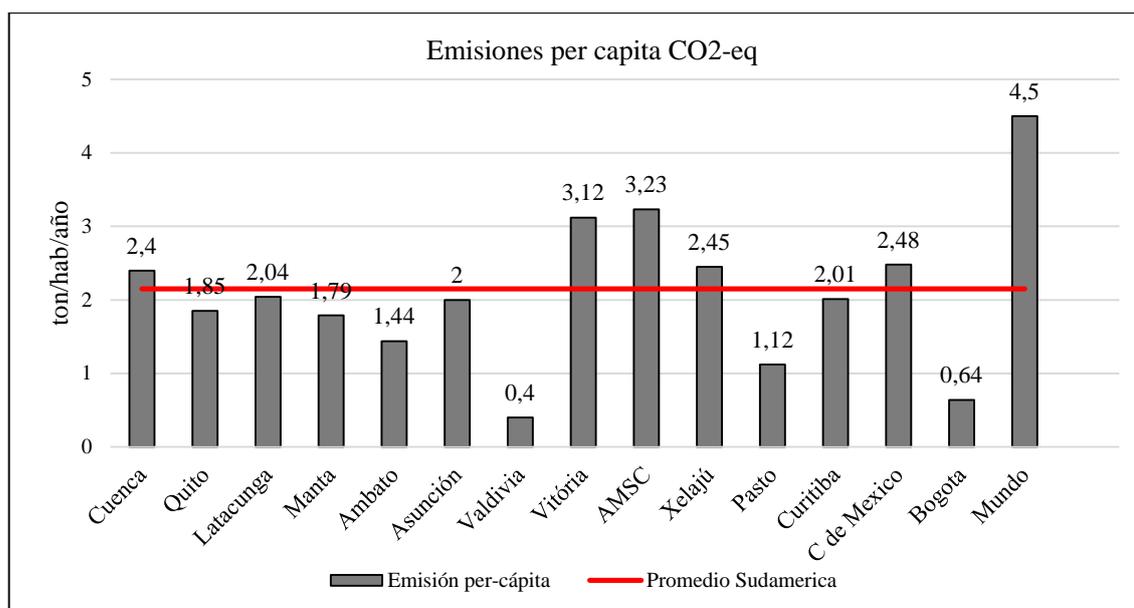


Figura 41: Emisiones per-cápita de CO₂-eq de ciudades Latinoamericanas
Fuente: MAE, 2014, BID, 2014, Conke et al., 2015, Alfonso et al., 2014
Elaboración: El Autor

5.4.3. Materiales y residuos sólidos

Uno de las limitaciones que tiene este estudio es la ausencia de información relacionada a flujos de materiales, que dentro de su espectro comprende entradas claves para realizar un estudio de MU: materiales de construcción, artículos de uso cotidiano, alimentos, entre los más importantes. El flujo de salida asociado al consumo de materiales es la producción de residuos sólidos. La magnitud y composición de este flujo de salida puede expresar algunos patrones de consumo, particularmente el consumo de alimentos, ya que la materia orgánica tiene la participación más importante dentro de la composición típica de los residuos urbanos, la cual es producto de desperdicios de alimentos en los hogares (Koivupuro et al., 2012).

La producción per-cápita de residuos sólidos totales en la ciudad de Cuenca fue de 0.80 kg/hab/día, año 2015, lo cual resulta en un incremento del 14,29%, respecto al año 2007, cuyo valor fue de 0.70 kg/hab/día. Los residuos sólidos de origen domiciliario representan aproximadamente el 72 % de los residuos totales. La intensidad en la producción de este tipo de desechos se ha mantenido durante el periodo de análisis con un valor per-cápita de 0.52

kg/hab/día. La composición de los residuos urbanos durante este periodo ha variado tenuemente. Por ejemplo, la presencia de materia orgánica es mayor en los residuos del 2015, el plástico ha disminuido su participación del 12%, al 10%, asimismo el material de papel y cartón pasó de 9%, al 6% (Figura 42). De acuerdo al porcentaje de materia orgánica del año 2015, cada persona estaría produciendo 0.32 kg al día de material potencialmente aprovechable, ya sea para compostaje o aprovechamiento energético (biogás). Esto se traduce en aproximadamente 45,000 toneladas al año de materia orgánica proveniente del sector doméstico.

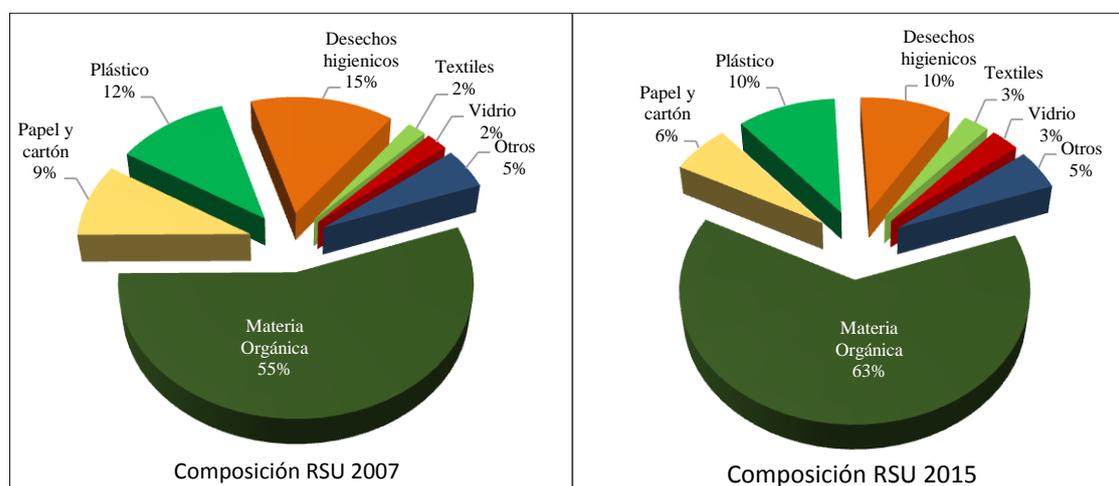


Figura 42: Composición típica de los residuos sólidos urbanos año 2007-2015

Fuente: EMAC. Elaboración: El Autor

La producción per-cápita de residuos sólidos en Latinoamérica y El Caribe varía entre 0.51 a 1.81 kg/hab/día, las ciudades con los valores per-cápita más altos son justamente las de mayor población como Buenos Aires, México y Caracas, por citar algunos ejemplos. Cuenca al igual que otras ciudades intermedias mantienen una producción per-cápita bajo el promedio de la región (0.90 kg/hab/día) (Figura 43).

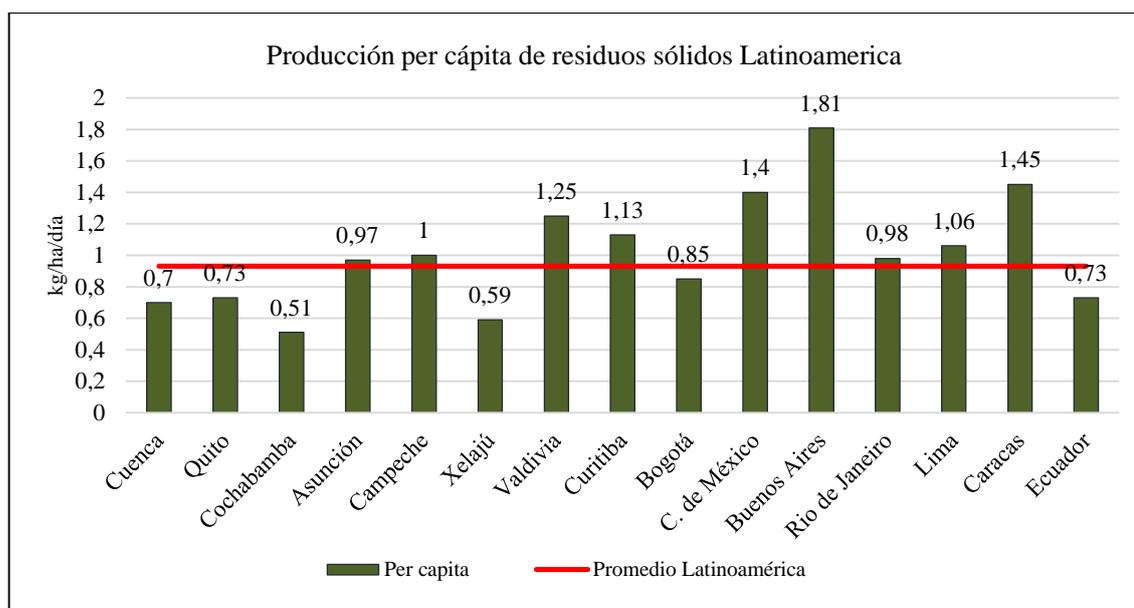


Figura 43: Producción per-cápita de residuos sólidos urbanos ciudades Latinoamericanas
Fuente: (BID, 2015b). Elaboración: El Autor

Una de las alternativas para bajar la intensidad del metabolismo urbano es el reciclaje, este flujo permite que parte de la materia que sale del sistema urbano de forma lineal (como desechos), se integre nuevamente ya sea al mismo sistema u otro que requiera este recurso. La intensidad de reciclaje en la ciudad de Cuenca, aún es baja, sin embargo ha experimentado un importante crecimiento durante el periodo analizado. En lo que se refiere a residuos inorgánicos reciclados, para el 2015, el reciclaje por persona se estimó en 77.7 kg al año, 2.5 veces más que en el año 2009 (30.9 kg/hab/año). En otras palabras, en el año 2015 el reciclaje represento el 16% de los residuos totales, porcentaje que está lejos al recomendado como sostenible (>25%) según la metodología ICES. Mientras que la materia orgánica destinada a compostaje representa tan solo el 3.22% de los residuos sólidos totales, indicador que está muy por debajo del recomendable (>20%) según la metodología.

5.5. Escenario tendencial

En términos totales los flujos metabólicos analizados (de forma agregada) en la ciudad de Cuenca han crecido con una tasa mayor a la de la población urbana (21.6%), con excepción de la producción y consumo de agua potable que registró un incremento del 11.9% y 17.9%, respectivamente, durante el periodo de referencia. Algo semejante ocurre al momento de analizar los flujos por sector. Por ejemplo, la variación del metabolismo del sector residencial se asemeja a la tasa de crecimiento de la población urbana, tal es el caso en el consumo de agua (19.56%), consumo de combustibles (19.41%) y producción de residuos sólidos (23.55%).

Lo dicho es relevante desde el punto de vista de la magnitud de los flujos metabólicos analizados, aunque el periodo de análisis no es muy amplio (ocho años), se puede denotar que para estos flujos, los patrones de consumo y producción de la población cuencana se han mantenido. En el consumo de agua se debe a las constantes campañas de concientización en el uso de este recurso, como también el mayor control en el consumo final (a pesar de que el consumo per-cápita aún es considerablemente alto, si se toma en cuenta las recomendaciones internacionales). En el consumo de combustibles (GLP) estaría dado por el mayor uso de duchas eléctricas y cocinas de inducción, que actualmente tienen una participación del 34% y 3%, respectivamente. Además se debe resaltar el mayor control por parte de la ARCH para evitar el consumo indebido de GLP doméstico en actividades industriales, agropecuarias, etc. En la producción de residuos, si bien su incremento es mayor al de la población, no deja de ser muy cercano. Las campañas de reciclaje y acciones de sensibilización en la población han motivado que aumente el reciclaje y se mantenga la producción de residuos acorde al crecimiento poblacional.

Los flujos metabólicos que presentan un mayor porcentaje de su magnitud frente a la tasa de crecimiento poblacional es el flujo de energía (32.76%), emisiones (39.87%), aguas

residuales (30.32%) y residuos sólidos totales (30.5%). Indudablemente, el incremento en las rutas metabólicas de energía y emisiones están directamente relacionadas con el aumento del parque automotor, ya que este sector concentra más de la mitad del consumo total de energía, y es la principal fuente de emisiones de GEI y contaminantes. La industria también tiene una participación importante pero su evolución ha sido menos intensa que el sector transporte. El incremento en la producción de aguas residuales, como ya se ha mencionado antes tiene que ver con mayor cobertura de alcantarillado y aguas lluvias.

La ciudad de Cuenca presenta un metabolismo lineal, que repercute en una tendencia sin miras a disminuir el su metabolismo o dicho de otra manera, no se evidencian claros mecanismos que permitan un metabolismo circular. A excepción del flujo de residuos sólidos, que mediante el reciclaje y la recuperación de biogás del relleno sanitario Pichacay para producción de energía eléctrica, apuntalan a un metabolismo menos intenso en lo que se refiere a este tema. Sin embargo, las tendencias actuales (en su mayoría lineales) demuestran un escenario futuro no muy promisorio para la ciudad de Cuenca.

En el caso del flujo agua se espera que para el año 2030 la ciudad consumiría aproximadamente 48 millones de m³ anuales de agua potable. Esto significa una producción de agua potable anual de 60 millones de m³ (manteniendo el porcentaje actual de pérdidas en la distribución de agua). A pesar de que las reservas de este recurso aún son suficientes, el estrés hídrico en la mayoría de los ríos que cruzan la ciudad es preocupante en los meses sin lluvia. Considerando únicamente los ríos Tomebamba y Machangara (ríos que abastecen la demanda de la mayor parte de la ciudad) el volumen disponible anual supera ligeramente los 30 millones de m³ en cada uno, teniendo en cuenta que los caudales ecológicos de estos ríos se ven afectados gran parte del año. Con estas consideraciones, para el año 2030, la ciudad de Cuenca se vería obligada a buscar otras fuentes más lejanas de este recurso, ya que para ese

año la demanda de agua potable no sería satisfecha por el volumen actual disponible en estos sistemas.

Por lo tanto, la intervención de las autoridades locales debe estar enmarcada en la implementación y cumplimiento de políticas públicas enfocadas a la reducción del consumo de agua potable en todos los sectores (particularmente el sector residencial). Por un lado, ejecutar acciones de sensibilización en la ciudadanía a través de la educación en el uso eficiente del recurso hídrico. Por otro lado se deberían revisar y reajustar las tarifas de agua potable sin perjudicar a la población vulnerable económicamente, este es un camino que ha tenido mucho éxito en ciudades de Colombia, como Bogotá. Además estas acciones deberían estar acompañadas por un control más efectivo del consumo de agua, pérdidas en el sistema y el aumento en el almacenamiento.

Lo dicho anteriormente tiene un efecto directo en la producción de aguas residuales, ya que la disminución de estas como también su carga orgánica es deseable. Puesto que actualmente la PTAU se aproxima a la capacidad máxima de tratamiento. Según el máximo caudal de la PTAU (1800 lt/s) y de acuerdo a las proyecciones del volumen de aguas residuales tratadas, el 2030 se estarían vertiendo aproximadamente 15 millones de m³ de aguas residuales crudas a los cuerpos de agua de la ciudad. La construcción de una PTAR solucionaría este inconveniente a futuro, la cual ya está planificada dentro de la III fase de los planes maestros de Cuenca.

La cantidad de energía demandada por la ciudad de Cuenca actualmente representa aproximadamente el 3% de la energía total del país, sin embargo es una de las ciudades con mayor consumo per-cápita de energía. Si esta tendencia actual sigue, se espera que para el año 2030 la demanda de energía aumente un 52% (24,431 TJ). Esto repercute directamente en emisiones, pues el 90% de esta energía se produce por la combustión de hidrocarburos líquidos y gaseosos, de los que se destaca las gasolinas y el diésel (energéticos utilizados en el

sector transporte). En este sentido las emisiones se GEI aumentarían proporcionalmente al incremento del consumo energético, y la calidad del aire en la ciudad empeoraría. En la actualidad los niveles de contaminación monitoreados en la ciudad, registran concentraciones que están bajo los límites establecidos tanto por la NCAA y la OMS, excepto para el PM_{10} , cuya concentración promedio anual sobrepasa los niveles de contaminación establecidos por la OMS, el O_3 también registra en ciertas temporadas concentraciones que sobrepasan ligeramente esta normativa.

El tráfico vehicular es la principal fuente de contaminación del aire en la ciudad, por lo tanto, las políticas públicas deberán enfocarse en este sector. Uno de los problemas de tráfico que actualmente presenta la ciudad es la saturación de sus principales vías, causado por el aumento en la preferencia de vehículos privados, y en efecto el detrimento del transporte público. Además esto disminuye la velocidad de viaje, y así aumentando las emisiones de CO e hidrocarburos, como también el consumo de combustibles. Frente a esto, las autoridades locales están implementando algunos proyectos para alentar la utilización del transporte público (El tranvía, renovación de flota de buses urbanos, reconfiguración de las rutas del transporte público, entre otras) y equipar de adecuada infraestructura a la movilidad no motorizada (ciclovías, el proyecto de la bicicleta pública, espacios peatonales). No obstante, estos proyectos deberían ir acompañados con desgravaciones en los subsidios de los combustibles¹⁶, de manera que se proteja la economía en el transporte público y se desincentive el uso de vehículos privados, sin afectar a la sostenibilidad de la economía urbana.

Además, reducir la dependencia de combustibles fósiles es uno de los retos que enfrenta Ecuador y sus ciudades. En la estructura de consumo energético de la ciudad de Cuenca se

¹⁶ Ecuador es uno de los países con los combustibles más baratos de la región, pues cubre aproximadamente el 68% del valor real de estos energéticos, lo que resulta un gasto de alrededor de \$ 4 millones. El impacto del subsidio es mayor en el diésel, por el cual se paga el 23% de su costo real, mientras que el costo de la gasolina está entre el 38% y 45% de su precio real.

puede notar que la electricidad representa apenas el 10%, cuya generación también tiene cierta dependencia de combustibles fósiles (aproximadamente 66%). Por lo tanto es impostergable la integración de energías limpias, renovables y asequibles en la matriz de consumo energético de la ciudad. Esto garantiza la autosuficiencia y acceso universal de este recurso.

En cuanto a residuos sólidos, de mantenerse la tendencia actual, la vida útil del relleno sanitario Pichacay acabaría en el año 2021. Para el año 2030 se espera que la ciudad genere alrededor de 225,000 toneladas anuales de residuos sólidos, que representaría 620 toneladas al día, las cuales para entonces no tendrían un lugar para su disposición final. Sin embargo, se espera aumentar la vida útil del relleno mediante el reciclaje y mejores técnicas de compactación para un mejor aprovechamiento del espacio disponible. Estas medidas requieren de políticas adicionales a las ya planteadas para que se pueda lograr dichos objetivos. A pesar que Cuenca cuenta con una extensión rural muy extensa, el espacio disponible es relativamente limitado para la construcción de otro relleno que cubra la magnitud de generación de residuos sólidos en el futuro.

El aprovechamiento de residuos orgánicos, es sin duda un gran mecanismo para disminuir la cantidad de residuos generados en los hogares, ya que tienen una participación mayor al 50%. Asimismo, los residuos inorgánicos, particularmente desechos de papel, cartón y plástico, podrían ser valorados energéticamente mediante la incineración. Según la composición actual de residuos sólidos urbanos, para el 2030 se estarían generando aproximadamente 35,000 toneladas de desechos con alto poder calorífico (papel, cartón y plástico). Esta tecnología aún no se ha implementado en el país, pero se presenta como una alternativa potencial a la disposición final de desechos, teniendo en cuenta las tendencias actuales del crecimiento en la producción de residuos.

Finalmente, los esfuerzos destinados a la educación en la prevención y separación en origen como también en la posterior recogida selectiva serán clave para disminuir la generación de residuos sólidos. Este es un paso fundamental, ya que entre menos producción de residuos menor costo para su gestión, por lo tanto el escenario más viable actualmente estaría en la implementación de programas de educación que no solo contemplen temas de prevención y separación de residuos sólidos, sino también en la eficiencia en el uso de recursos.

5.6. Propuestas para la reducción del metabolismo urbano en la ciudad de Cuenca

Tabla 27: Propuestas para la reducción del metabolismo urbano en la ciudad de Cuenca

FLUJO METABÓLICO	PROPUESTA
Agua potable y aguas residuales	<ul style="list-style-type: none"> • Reducir el consumo per-cápita de agua mediante la regulación de tarifas que desincentiven la sobreutilización de este recurso. • Implementar y potenciar las campañas de sensibilización en el uso del recurso hídrico. • Incentivar y promocionar mecanismos, sistemas, equipos y dispositivos que permitan el ahorro del agua en los hogares
Energía y emisiones	<ul style="list-style-type: none"> • Promover e incrementar la participación del transporte público, mejorando este servicio en calidad, tarifas, infraestructura y conexión urbana. • Implementar estrategias con niveles de gobierno superior para la revisión ajuste en los subsidios de combustibles utilizados por automóviles, y de esta manera fortalecer el transporte público y reducir la preferencia por el transporte privado. • Promover la ejecución de obras de infraestructura para el transporte no motorizado, priorizando el flujo peatonal y la movilidad de bicicletas (viajes de corta y larga distancia). • Definir incentivos y facilidades necesarias para la penetración de energías limpias, renovables y asequibles en la matriz de consumo energético de la ciudad. • Implementación de regulaciones más estrictas en la

Materiales y residuos sólidos	<p data-bbox="660 192 911 226">evasión de la RTV.</p> <ul data-bbox="612 232 1396 602" style="list-style-type: none"><li data-bbox="612 232 1396 300">• Desarrollar campañas de concientización en la eficiencia y uso de recursos.<li data-bbox="612 306 1396 374">• Crear mecanismo adicional que fortalezcan la cultura de reciclaje en los hogares.<li data-bbox="612 380 1396 448">• Fortalecer y ampliar la infraestructura para reciclaje tanto de residuos inorgánicos como orgánicos.<li data-bbox="612 454 1396 602">• Promover alternativas para el tratamiento final de residuos sólidos tales como la incineración controlada y el compostaje en hogares, ambas con miras para la recuperación de la energía de los desechos.
-------------------------------	---

6. CONCLUSIONES

- El principal objetivo de esta tesis fue medir las entradas y salidas más importantes de la ciudad de Cuenca bajo el concepto de metabolismo urbano, aplicando el AFME. De esta manera se buscó también identificar la información faltante para realizar un estudio de MU, ya que no existe antecedente de algún estudio similar en una ciudad ecuatoriana. Si bien es cierto que se logró conseguir gran parte de la información requerida (agua, energía, aguas residuales, emisiones y residuos sólidos), lamentablemente no se ubicó información relacionada al flujo de alimentos y materiales. Se encontró también algunas deficiencias en la desagregación espacial de la información, ya que la mayoría de los datos registrados por las instituciones públicas están a nivel cantonal. Por lo tanto dificulta una evaluación enfocada en la zona urbana.
- En cuanto al análisis metabólico en términos per-cápita, se evidencia que la intensidad en el flujo agua presenta una ligera disminución en la producción y consumo de agua potable durante los últimos ocho años. La población urbana ha disminuido su consumo en 6 litros por habitante al día, sin embargo, el consumo per-cápita no deja de ser alto ya que lo recomendable es 100 lt/hab/día según la OMS. Por otro lado, la producción de agua potable ha logrado disminuir su intensidad como resultado de la reducción de pérdidas en la distribución de agua en la ciudad. Esto ha hecho que Cuenca sea una de las ciudades más eficientes de Ecuador y Latinoamérica en cuanto a la distribución de agua potable.
- La energía es el flujo metabólico más destacado en la ciudad de Cuenca tanto por la magnitud de su consumo per-cápita como el impacto ambiental asociado. El incremento del gasto energético por habitante ha sido considerable durante los últimos ocho años, y es uno de los más altos en Latinoamérica. Esta comparativa se ha

realizado con ciudades que sobrepasan el millón de habitantes como Curitiba, Bogotá, Río de Janeiro y México. La información del consumo total de energía en ciudades medias o pequeñas como Cuenca es nula, ya que sería interesante realizar un análisis comparativo de consumo energético entre estas ciudades. Puesto que este tipo de ciudades Latinoamericanas en muchos casos tienen altas tasas de motorización, dado que el transporte masivo no es tan necesario como lo es en ciudades grandes. Por lo tanto, el consumo energético por persona para transportarse se incrementaría considerablemente con la utilización de vehículos privados.

- Respeto a las salidas del sistema urbano, se evidencia un gran aumento en las emisiones de GEI y emisiones de contaminantes primarios, lo cual es justificado por el incremento del consumo energético. Sin embargo, el incremento en el consumo de energía fósil y el incremento de emisiones no es directamente proporcional debido a que las escalas de estos dos flujos metabólicos fueron diferentes. A nivel urbano para consumo de energía y a nivel cantonal para emisiones. Por otro lado, se destaca las emisiones de CO y SO₂; el primero por su intensidad, la cual es la más alta en Ecuador, y además de que está directamente relacionado con el tráfico vehicular; el segundo por ser el único contaminante que ha disminuido la cantidad de emisiones en un 20%, gracias a la reducción de azufre en los combustibles líquidos.
- La producción per-cápita de aguas residuales presentan una evolución contraria a la producción de agua potable, que se justificaría por el incremento en la cobertura de alcantarillado y la capacidad de la PTAR. Además, por la influencia que tiene el volumen de precipitación anual en este flujo. Según el consumo de agua potable por categoría casi la totalidad de las aguas residuales provienen del sector doméstico (80%), lo cual revela la importancia en la reducción de los patrones de consumo en este sector. De esta manera también se ayudaría a bajar el volumen y la carga

contaminante de las aguas residuales, y a la vez aumentaría la capacidad de tratamiento.

- El flujo de residuos sólidos presenta un leve incremento, influenciado particularmente por los residuos de origen industrial y comercial, ya que la producción de residuos de origen doméstico ha mantenido su intensidad durante el periodo analizado. Si bien es cierto que Cuenca es una de las ciudades con mayor porcentaje de hogares que clasifican sus residuos, aún es necesario incrementar la cultura de reciclaje. El crecimiento en este tema ha sido importante pero no suficiente para alcanzar niveles recomendados como sostenibles.
- A nivel de sectores se concluye que el sector de mayor impacto en la ciudad es el transporte, en lo que se refiere a energía y emisiones, este sector concentra aproximadamente el 63% del consumo total de energía, seguido de la industria (20%) y el sector doméstico (14%). La matriz de consumo energético de la ciudad se sustenta básicamente de combustibles derivados del petróleo (90%) y el 10% restante proviene de energía eléctrica, cuya estructura de consumo es predominada por el sector doméstico, comercial e industrial. Los combustibles consumidos en la ciudad suplen básicamente las necesidades energéticas del transporte y la industria. El segundo sector más importante en el metabolismo de la ciudad es el doméstico, pues también tiene una participación destacada en el consumo de hidrocarburos, en lo que se refiere a GLP, ya que es el combustible requerido en los hogares para cocción y calentamiento de agua. Asimismo, es el sector de mayor consumo en agua y electricidad, como también el de mayor producción de residuos sólidos.

7. RECOMENDACIONES

- Es necesario la conformación de un sistema único de información a nivel de cantones que estandarice la metodología en la producción y presentación de la información con un desglose a nivel de parroquias urbanas y rurales. Además se requiere una redefinición del límite urbano, ya que el límite geográfico actual no considera zonas rurales que han sido invadidas por la mancha urbana y tienen directa conexión con las actividades económicas de la ciudad.
- Es necesario la cooperación y compromiso por parte de las instituciones públicas y privadas para potenciar la producción y publicación de información de interés de grupos de investigación, universidades y público en general. Este paso es muy importante ya que dentro del análisis de flujos de materiales y alimentos se requiere de información recopilada por el sector privado y que en la actualidad es muy difícil obtenerla.
- Se recomienda un análisis más exhaustivo del flujo energético, donde se considere las pérdidas asociadas a la distribución y consumo de este recurso. También es importante definir una metodología para el cálculo de este flujo, ya que en muchos estudios de MU no se detalla tal proceso, particularmente el consumo de energía en el sector transporte.
- Algunos indicadores per-cápita de Cuenca son relativamente altos frente a otras ciudades de Latinoamérica. Por lo que es inminente promover políticas públicas que permitan atenuar y reducir la intensidad del metabolismo de la ciudad, especialmente en el sector transporte y residencial. Es necesario potenciar algunos proyectos ya puestos en ejecución como la bicicleta pública, ciclo vías o el tranvía.
- Sería interesante integrar el estudio del MU en los PDOT tanto cantonal como urbano, ya que en el caso de Cuenca, estos documentos presentan escasa información sobre flujos de materiales y energía, lo cual es una potencial herramienta para la planificación del territorio urbano.

8. BIBLIOGRAFÍA

- ADERASA, (Asociación de Entes reguladores de Agua Potable y Saneamiento de las Americas. (2013). *Informe Anual – 2013 Datos Año 2012*: Buenos Aires, Argentina. Retrieved from http://www.aderasa.org/v1/wp-content/uploads/2016/06/Informe_anual_de_benchmarking_de_ADERASA_2013.pdf
- Alfonso, W. H., & Pardo, C. I. (2014). Urban material flow analysis: An approach for Bogotá, Colombia. *Ecological Indicators*, 42, 32–42. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.10.035>
- Álvarez, J. C. (2014). Metabolismo urbano : herramienta para la sustentabilidad de las ciudades. *Interdisciplina 2, Núm. 2, 2*, 51–70.
- Asamblea Nacional. Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización, Registro Oficial - Órgano del Gobierno del Ecuador 227 Pages (2010).
- Baquero, M., & Quesada, F. (2016). Eficiencia energética en el sector residencial de la Ciudad de Cuenca , Ecuador. *Maskana*, 7(2), 147–165. <https://doi.org/doi.org/10.18537/mskn.07.02.11> 149
- Barragán, A., Arias, P. D., & Terrados, J. (2016). Fomento del metabolismo energético circular mediante generación eléctrica proveniente de rellenos sanitarios : Estudio de caso , Cuenca , Ecuador Promoting Circular Energy Metabolisms through Electricity Generation from Landfills : Case study. *INGENIUS: Revista de Ciencia Y Tecnología*, 16, 36–42. <https://doi.org//doi.org/10.17163/ings.n16.2016.05>
- Barragán, A., Arias, P., & Terrados, J. (2017). Renewable Energy Generation Technologies on Urban Scale. *Renewable Energy and Power Quality Journal*, (15).
- Bastidas, D., & Medina, P. (2010). Estimación de la densidad poblacional del Ecuador continental. *Revista de Análisis Estadístico*, 1(1), 89–115. Retrieved from http://www.ecuadorencifras.gob.ec/Analitika/Descargas/Estimacion_de_la_densidad_po

blacional_del_ecuador_continental.pdf

- BCE, (Banco Central del Ecuador). (2015). Resultados de las Cuentas Nacionales. Retrieved from <https://www.bce.fin.ec/index.php/boletines-de-prensa-archivo/item/740-el-banco-central-del-ecuador-presenta-los-resultados-de-las-cuentas-regionales>
- Beloin-Saint-Pierre, D., Rugani, B., Lasvauz, S., Mailhac, A., Popovici, E., Sibiude, G., ... Schiopu, N. (2016). A review of urban metabolism studies to identify key methodological choices for future harmonization and implementation. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.09.014>
- Bermeo, H. (2013). Analisis de Vulnerabilidad del Canton Cuenca. *Universidad de Cuenca*.
- BID, (Banco Interamericano de Desarrollo). (2013). *Indicadores de la Iniciativa Ciudades Emergentes y Sostenibles (ICES): Guía metodológica*. Retrieved from <http://www.iadb.org/es/temas/ciudades-emergentes-y-sostenibles/implementacion-del-enfoque-del-programa-ciudades-emergentes-y-sostenibles,7641.html>
- BID, (Banco Interamericano de Desarrollo). (2014). *Cuenca Ciudad Sostenible: Plan de Acción*. Cuenca.
- BID, (Banco Interamericano de Desarrollo). (2015a). Ciudades Emergentes y Sostenibles: Vivienda y Desarrollo Urbano. Retrieved from <http://www.iadb.org/es/temas/ciudades-emergentes-y-sostenibles/publicaciones-ciudades-sostenibles,18715.html>
- BID, (Banco Interamericano de Desarrollo). (2015b). *Situación de la Gestión de Residuos Sólidos en América Latina y el Caribe*. Retrieved from https://publications.iadb.org/bitstream/handle/11319/7177/Situacion_de_la_gestion_de_residuos_solidos_en_America_Latina_y_el_Caribe.pdf?sequence=1
- Blečić, I., Cecchini, A., Falk, M., Marras, S., Pyles, D. R., Spano, D., & Trunfio, G. A. (2014). Urban metabolism and climate change: A planning support system. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 26(1), 447–457.

- <https://doi.org/10.1016/j.jag.2013.08.006>
- Brunner, P. H. (2007). Reshaping urban metabolism. *Journal of Industrial Ecology*, 11(2), 11–13. <https://doi.org/10.1162/jie.2007.1293>
- Brunner, P. H., & Rechberger, H. (2004). *Practical Handbook of Material Flow Analysis*. <https://doi.org/10.1016/B978-1-85617-809-9.10003-9>
- CENTROSUR. (2016). Estadísticas: El mercado regulado. Retrieved from <http://www.centrosur.gob.ec/?q=energia-consumida>
- Conke, L. S., & Ferreira, T. L. (2015). Urban metabolism: Measuring the city's contribution to sustainable development. *Environmental Pollution*, 202, 146–152. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2015.03.027>
- Cui, S., Xu, S., Huang, W., Bai, X., Huang, Y., & Li, G. (2015). Changing urban phosphorus metabolism: Evidence from Longyan City, China. *Science of the Total Environment*, 536, 924–932. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.06.073>
- D'Alisa, G., Di Nola, M. F., & Giampietro, M. (2012). A multi-scale analysis of urban waste metabolism: Density of waste disposed in Campania. *Journal of Cleaner Production*, 35, 59–70. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.05.017>
- Davis, M. J. M., Polit, D. J., & Lamour, M. (2016). Social Urban Metabolism Strategies (SUMS) for Cities. *Procedia Environmental Sciences*, 34, 309–327. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2016.04.028>
- De Gregorio, J. (2007). *Macroeconomía Teoría y Políticas* (1ra. Edici). Santiago, Chile: Pearson-Educación. Retrieved from <http://www.degregorio.cl/pdf/Macroeconomia.pdf>
- Delgado, G. C. (2013). Climate change and metabolic dynamics in Latin American major cities. *The Sustainable City*, 179, 39–53. <https://doi.org/10.2495/SC130041>
- Denafas, G., Ruzgas, T., Martuzevičius, D., Shmarin, S., Hoffmann, M., Mykhaylenko, V., ... Ludwig, C. (2014). Seasonal variation of municipal solid waste generation and

- composition in four East European cities. *Resources, Conservation and Recycling*, 89, 22–30. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2014.06.001>
- EMAC EP, (Empresa Pública Municipal de Aseo de Cuenca). (2016). Recolección. Retrieved from <http://www.emac.gob.ec/?q=content/recolección-0>
- EMOV EP. (2014). Resumen del inventario de emisiones atmosféricas del cantón Cuenca, año 2011. Cuenca-Ecuador.
- Espinoza, F. (2012). *Análisis económico para el cantón Cuenca utilizando análisis multicriterio mediante la herramienta de sistema de información geográfica*. Universidad de Cuenca.
- Espinoza, M., & Campoverde, M. (2013). *Evaluación del desempeño de los espesadores a gravedad de la planta de aguas residuales Ucubamba*. Universidad de Cuenca.
- ETAPA EP, (Empresa Pública Municipal de Telecomunicaciones Agua Potable Alcantarillado y Saneamiento). (2015). Saneamiento: Planta de tratamiento de aguas residuales Ucubamba. Retrieved from <http://www.etapa.net.ec/Productos-y-servicios/Saneamiento/Plantas-de-Tratamiento-de-Aguas-Residuales-Ucubamba>
- ETAPA EP, (Empresa Pública Municipal de Telecomunicaciones Agua Potable Alcantarillado y Saneamiento). (2016). Saneamiento. Retrieved from <http://www.etapa.net.ec/Productos-y-servicios/Saneamiento/Saneamiento>
- EUROSTAT. (2001). *Economy-wide material flow accounts and derived indicators: A methodological guide*. Luxemburgo, Statistical Office of the European Union: European Communities.
- Facchini, A., Kennedy, C., Stewart, I., & Mele, R. (2016). The energy metabolism of megacities. *Applied Energy*. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.09.025>
- Fundación Natura, (ORG), Cuencaire, (Corporación), & CGA, (Comisión de Gestión Ambiental del Municipio de Cuenca). (2009). *Inventario de emisiones atmosféricas del*

cantón Cuenca, año base 2007. Cuenca, Ecuador.

GAD Municipal de Cuenca. (2014). *Plan de ordenamiento urbano de Cuenca*. Cuenca, Ecuador.

GAD Municipal de Cuenca. (2015a). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial*. Cuenca, Ecuador. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

GAD Municipal de Cuenca. (2015b). *Plan de movilidad y espacios públicos*. Cuenca, Ecuador.

García, M. I., Morales, T., & Guerrero, J. (2014). Análisis de Flujos de Agua en Áreas Metropolitanas desde la Perspectiva del Metabolismo Urbano. *Luna Azul*, (39), 234–249. <https://doi.org/10.17151/luaz.2015.41.19>

Golubiewski, N. (2012). Is There a Metabolism of an Urban Ecosystem? An Ecological Critique. *Springer*. <https://doi.org/10.1007/s13280-011-0232-7>

Guerrero, E. M., & Guiñirgo, F. (2008). Indicador espacial del metabolismo urbano . Huella Ecológica de la ciudad de Tandil, Argentina. *Revista Iberoamericana de Economía Ecológica*, 9, 31–44.

Hoornweg, D., Campillo, G., Linders, D., Sugar, L., & Saldivar, A. (2012). Mainstreaming Urban Metabolism: Advances and Challenges in City Participation. *Sixth Urban Research and Knowledge Symposium*.

INEC, (Instituto Nacional Ecuatoriano de Estadísticas y Censos). (2011a). Censo Nacional Económico. Retrieved from <http://redatam.inec.gob.ec/cgi-bin/RpWebEngine.exe/PortalAction?&MODE=MAIN&BASE=CENEC&MAIN=WebServerMain.inl>

INEC, (Instituto Nacional Ecuatoriano de Estadísticas y Censos). (2011b). VII Censo de Población y VI de Vivienda - 2010. Retrieved from <http://redatam.inec.gob.ec/cgi-bin/RpWebEngine.exe/PortalAction?&MODE=MAIN&BASE=CENEC&MAIN=WebServerMain.inl>

ASE=CPV2010&MAIN=WebServerMain.inl

- INEC, (Instituto Nacional Ecuatoriano de Estadísticas y Censos). (2015). Información Ambiental en Hogares-ENEMDU. Retrieved from <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/hogares/>
- Jerves, R., & Armijos, F. (2016). Analisis y revisión de la red de monitoreo de calidad del aire de la ciudad de Cuenca, Ecuador. *La Granja: Revista de Ciencias de La Vida*, 23(1), 25–34. <https://doi.org/10.17163/lgr.n23.2016.03>
- Kennedy, C. A., Stewart, I., Facchini, A., Cersosimo, I., Mele, R., Chen, B., ... Sahin, A. D. (2015). Energy and material flows of megacities. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(19), 5985–5990. <https://doi.org/10.1073/pnas.1504315112>
- Kennedy, C., Baker, L., Dhakal, S., & Ramaswami, A. (2012). Sustainable Urban Systems: An Integrated Approach. *Journal of Industrial Ecology*, 16(6), 775–779. <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2012.00564.x>
- Kennedy, C., Cuddihy, J., & Engel-Yan, J. (2007). The Changing Metabolism of Cities. *Journal of Industrial Ecology*, 11(2), 43–59. <https://doi.org/10.1162/jie.2007.1107>
- Kennedy, C., & Hoornweg, D. (2012). Mainstreaming Urban Metabolism. *Journal of Industrial Ecology*, 16(6), 780–782. <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2012.00548.x>
- Kennedy, C., Pincetl, S., & Bunje, P. (2011). The study of urban metabolism and its applications to urban planning and design. *Environmental Pollution*, 159(8–9), 1965–1973. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2010.10.022>
- Kennedy, C., Stewart, I. D., Ibrahim, N., Facchini, A., & Mele, R. (2014). Developing a multi-layered indicator set for urban metabolism studies in megacities. *Ecological Indicators*, 47, 7–15. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.07.039>
- Koivupuro, H., Hartikainen, H., Silvennoinen, K., Katajajuuri, J., Heikintalo, N., Reinikainen, A., & Jalkanen, L. (2012). Influence of socio-demographical , behavioural and attitudinal

- factors on the amount of avoidable food. *International Journal of Consumer Studies*, 36, 183–191. <https://doi.org/10.1111/j.1470-6431.2011.01080.x>
- Lennox, J. a, & Turner, G. M. (2004). State of the environment report on human settlements: stocks and flows indicators. *Prepared for the Department of the Environment and Heritage, Canberra. CSIRO Sustainable Ecosystems, Canberra*, (December 2004), 17.
- Lotfi, A., & Daneshpour, S. A. (2016). Analysis and Evaluation of the Ecological Restoration of the City with an Emphasis on Urban Metabolism, (June), 377–386.
- MAE, (Ministerio del Ambiente). (2014). *Inventario de emsiones en las ciudades de Loja, Azogues, Babahoyo y Quevedo, año base 2010*. Quito, Ecuador. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1354.1607>
- Malo, A. (2015). *El Metabolismo Social, El Sumak Kawsay y el Territorio; El Caso de Cuenca, Ecuador*. Universitat Autònoma de Barcelona.
- MICSE, (Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos). (2015). *Balance energético nacional*. Quito, Ecuador.
- Minx, J., Creutzig, F., Ziegler, T., & Owen, A. (2011). Developing a Pragmatic Approach to Assess Urban Metabolism in Europe. *Climatecon Working Paper Series*, (1), 1–83.
- Newman, P. W. G. (1999). Sustainability and cities: Extending the metabolism model. *Landscape and Urban Planning*, 44(4), 219–226. [https://doi.org/10.1016/S0169-2046\(99\)00009-2](https://doi.org/10.1016/S0169-2046(99)00009-2)
- Ngo, N. S., & Pataki, D. E. (2008). The energy and mass balance of Los Angeles County. *Urban Ecosystems*, 11(2), 121–139. <https://doi.org/10.1007/s11252-008-0051-1>
- Oliver-Sola, J., Nunez, M., Gabarrell, X., Boada, M., & Rieradevall, J. (2007). Service sector metabolism - Accounting for energy impacts of the Montjuic Urban Park in Barcelona. *Journal of Industrial Ecology*, 11(2), 83–98. <https://doi.org/10.1162/jie.2007.1193>
- ONU, (Organización de las Naciones Unidas). (2014). *World Urbanization Prospects*

(Highlights).

- PGP, P. Y. G. de P. (2016). *Auditoría técnica y de gestión a la empresa ETAPA EP correspondiente a los años 2013, 2014 y 2015*. Cuenca, Ecuador.
- Pincetl. (2012). A living city: using urban metabolism analysis to view cities as life forms. *Metropolitan Sustainability*, 3–25. <https://doi.org/10.1533/9780857096463.1.3>
- Pincetl, S., Bunje, P., & Holmes, T. (2012). An expanded urban metabolism method: Toward a systems approach for assessing urban energy processes and causes. *Landscape and Urban Planning*, 107(3), 193–202. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2012.06.006>
- Pinos, N. (2015). *Prospectiva del uso del suelo y cobertura vegetal en el ordenamiento territorial caso cantón Cuenca*. Universidad de Cuenca.
- Quesada, F., Guillén, V., Orellana, D., Calle, A., & López, M. (2016). Método de Certificación de la Vivienda Sustentable de Cuenca. Retrieved from <http://viviendasustentablecuenca.com/informacion-cuenca/>
- Rapoport, E. (2011). *Interdisciplinary Perspectives on Urban Metabolism*. UCL Environment Institut. *UCL Development Planning Unit*.
- Red de Monitoreo de Calidad del Aire, (EMOV EP). (2011). *Inventario de emisiones atmosféricas del cantón Cuenca, año base 2009*. Cuenca, Ecuador.
- Red de Monitoreo de Calidad del Aire, (EMOV EP). (2013). *Inventario de emisiones atmosféricas del cantón Cuenca, año base 2011*. Cuenca, Ecuador.
- Red de Monitoreo de Calidad del Aire, (EMOV EP). (2016a). *Informe de la calidad del aire de Cuenca*. Cuenca, Ecuador.
- Red de Monitoreo de Calidad del Aire, (EMOV EP). (2016b). *Inventario de emisiones atmosféricas del cantón Cuenca, año base 2014*. Cuenca, Ecuador.
- Rosenberg, M. (2017). Sectors of the Economy. Retrieved from <https://www.thoughtco.com/sectors-of-the-economy-1435795>

- Rueda, S. (1999). Modelos e Indicadores para ciudades más sostenibles Taller sobre Indicadores de Huella, 40.
- Sahely, H. R., Dudding, S., & Kennedy, C. a. (2003). Estimating the urban metabolism of Canadian cities: Greater Toronto Area case study. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 30(4), 794–794. <https://doi.org/10.1139/103-054>
- Salbitano, F., Borelli, S., Conigliaro, M., & Chen, Y. (2016). *Guidelines on urban and peri-urban forestry*. Roma, Italia.
- Sander, K., Mira-Salama, & Feuerbache, D. (2015). *The Cost of Air Pollution A Case Study for the city of Cuenca, Ecuador*. The World Bank. Cuenca, Ecuador.
- Science for Environment Policy. (2015). *Indicators for sustainable cities*. <https://doi.org/10.2779/61700>
- SENPLADES, (Secretaria Nacional de Planificación y Desarrollo). (2014). *Agenda Regional de Población y Desarrollo después del 2014 en Ecuador*.
- SENPLADES, (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo). (2015). *Agenda Zonal zona 6- Austro 2013 - 2017*.
- SENPLADES, (Secretaria Nacional de Planificación y Desarrollo). (2015). Niveles administrativos de planificación. Retrieved from <http://www.planificacion.gob.ec/3-niveles-administrativos-de-planificacion/>
- Shahrokni, H., Lazarevic, D., & Brandt, N. (2015). Smart Urban Metabolism: Towards a Real-Time Understanding of the Energy and Material Flows of a City and Its Citizens. *Journal of Urban Technology*, 22(1), 65–86. <https://doi.org/10.1080/10630732.2014.954899>
- SIISE, (Sistema Integrado de Indicadores Sociales del Ecuador). (n.d.). Definiciones del SIISE. Retrieved from http://www.siise.gob.ec/siiseweb/PageWebs/glosario/figlo_areare.htm

- Tseng, W. L., & Chiueh, P. Te. (2015). Urban Metabolism of Recycling and Reusing Food Waste: A Case Study in Taipei City. *Procedia Engineering*, 118, 992–999. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.540>
- UN-HABITAT, (United Nations Human Settlements Programa). (2013). *State of the world's cities 2012/2013*. Retrieved from www.unhabitat.org
- UN-HABITAT, (United Nations Human Settlements Programa). (2016). *Urbanization and development: Emerging Futures*. Retrieved from <https://unhabitat.org/urban-knowledge/publications/>
- UNEP. (2012). *Sustainable, Resource Efficient Cities – Making it Happen! United Nations Environment Programme*.
- Villacís, B., & Carrillo, D. (2011). *Estadística Demográfica en el Ecuador: Diagnóstico y Propuestas. Inec*.
- Villacís, B., & Carrillo, D. (2012). País atrevido: la nueva cara sociodemográfica del Ecuador. *Analitika*, 52. Retrieved from http://www.inec.gob.ec/publicaciones_libros/Nuevacarademograficadeecuador.pdf
- Voskamp, I. M., Stremke, S., Spiller, M., Perrotti, D., & Hoek, J. P. Van Der. (2016). Enhanced Performance of the Eurostat Method for Comprehensive Assessment of Urban Metabolism A Material Flow Analysis of Amsterdam, 0(0), 1–16. <https://doi.org/10.1111/jiec.12461>
- Warren-Rhodes, K., & Koenig, A. (2001). Escalating Trends in the Urban Metabolism of Hong Kong: 1971–1997. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 30(7), 429–438. <https://doi.org/10.1579/0044-7447-30.7.429>
- WHO, (World Health Organization). (2003). *Domestic Water Quantity , Service Level and Health*. Ginebra, Suiza. Retrieved from http://www.who.int/water_sanitation_health/diseases/wsh0302/es/

- Wolman, A. (1965). The Metabolism of Cities. *Science American*.
- Yang, D., Gao, L., Xiao, L., & Wang, R. (2012). Cross-boundary environmental effects of urban household metabolism based on an urban spatial conceptual framework: A comparative case of Xiamen. *Journal of Cleaner Production*, 27, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.12.033>
- Yetano, M., Lechtenböhmer, S., Fishedick, M., Gröne, M.-C., Xia, C., & Dienst, C. (2014). Concepts and Methodologies for Measuring the Sustainability of Cities. *Annual Review of Environment and Resources*, 39(1), 519–547. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-012913-101223>
- Zhang, Y. (2013). Urban metabolism: A review of research methodologies. *Environmental Pollution*, 178, 463–473. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.03.052>
- Zhang, Y., Linlin, X., & Weining, X. (2014). Analyzing spatial patterns of urban carbon metabolism: A case study in Beijing, China. *Landscape and Urban Planning*, 130, 184–200. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.05.006>
- Zhang, Y., Yang, Z., & Yu, X. (2006). Measurement and evaluation of interactions in complex urban ecosystem. *Ecological Modelling*, 196(1–2), 77–89. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2006.02.001>