

Pontificia Universidad Católica del Perú

Escuela de Posgrado



**Autosuficiencia energética, hídrica y alimentaria en
ambientes urbanos: aplicación en la cubierta.
Reducción de emisiones de gases de efecto
invernadero.**

Tesis para optar el grado de Magíster en Ingeniería Civil

Presentado por José Alejandro Bazán Andía

Asesor: Ian Vázquez Rowe, PhD.

**Co asesores: Joan Rieradevall Pons, PhD.,
Xavier Gabarrell Durany, PhD.**

Lima, marzo de 2018

Resumen

Las actividades que se desarrollan en las ciudades dinamizan la economía global; no obstante, estos procesos urbanos son, actualmente, intensivos en emisión de gases de efecto invernadero (GEI). Es de interés mundial reducir estas emisiones con la transición a sistemas de bajo consumo de carbono. Para ello, se implementa, en los subsistemas urbanos, tecnologías de captación de recursos endógenos donde se aborda el nexo energía – agua – alimento. El estudio posee dos objetivos: (i) determinar el grado de autosuficiencia energética, hídrica y alimentaria para afianzar la seguridad respectiva; (ii) cuantificar la reducción de GEI respecto del contexto actual. Asimismo, la investigación se sustenta en: (a) prevenir la discontinuidad del suministro y reducir la dependencia de fuentes externas; (b) el cumplimiento del compromiso medioambiental del Acuerdo de París, Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (2016).

Para el análisis, se han seleccionado tres ciudades por cada región geográfica de Perú: Ica, Ayacucho y Pucallpa; cada una con una climatología, morfología urbana y un mix eléctrico regional particular. Estas ciudades son representativas porque se encuentran en las regiones climatológicas donde se concentra la mayor parte de la población nacional. Por ello, éstas se han caracterizado en demanda y oferta con datos de energía solar incidente, temperatura, pluviometría y consumo de agua, electricidad y alimentos. Posteriormente, a partir del plano urbano, ArcGis 10.3 cuantifica la superficie de cubierta disponible. Como último paso para obtener el potencial real, se aplican una serie de factores de corrección por área y eficiencia. Los resultados indican que los recursos endógenos permiten satisfacer la demanda; específicamente, en energía. Asimismo, el análisis ambiental con el método IPCC 2013 en Simapro v8.2 evidencia una importante reducción de emisiones de GEI, la cual varía en cada ciudad según el mix eléctrico particular con el que es comparado. Finalmente, a través del análisis de sensibilidad, se determina valores ideales que ciertos parámetros de crecimiento urbano deben mantener para afianzar la seguridad entre el nexo urbano descrito y la sostenibilidad ambiental.

Abstract

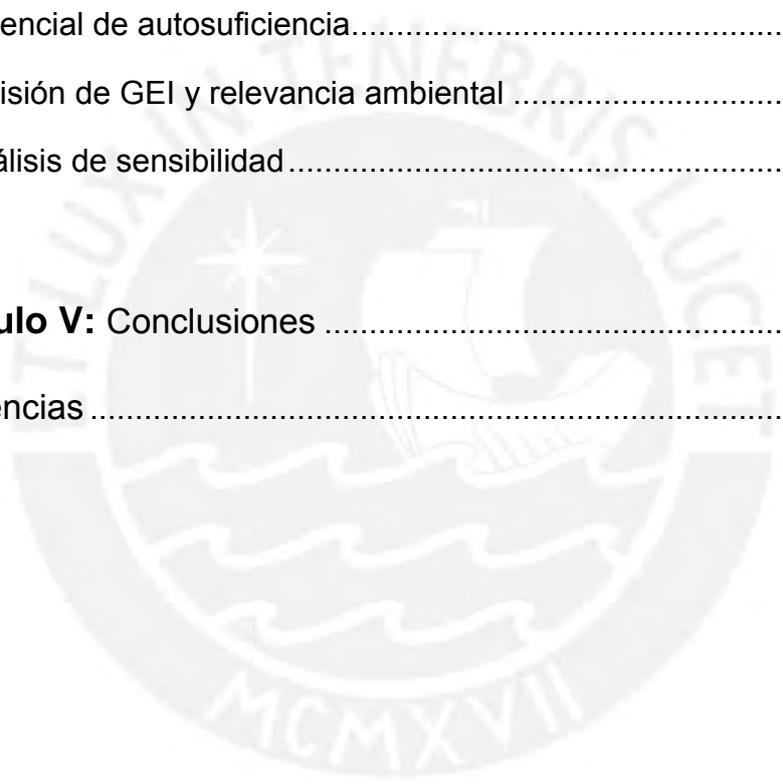
Cities concentrate global development through different economic activities. However, currently urban processes are highly intensive in terms emission of greenhouse gas (GHG) emissions. The reduction of these emissions is a global concern that has triggered the transition to low carbon systems. Thus, it is imperative to implement technologies of endogenous resources in urban subsystems that can deal with the energy-water–food nexus. Therefore, this dissertation has two main objectives. On the one hand, to determine the self-sufficiency factor in energy, water and food to strengthen their respective security. On the other hand, the establishment of a quantification framework to calculate GHG emission reductions with respect to the current situation. The importance of this study is based on an effort to decentralize the supply of energy, water and food in urban environments, reducing the dependence on external sources. For this, the underutilization of rooftops was identified as a potential vector to generate endogenous resources in cities.

Three cities (i.e., Ica, Ayacucho and Pucallpa) were selected for analysis, each of them representing a particular climatic region of Peru. These cities were deemed representative because they are in the climatic regions where most of the Peruvian population is concentrated. Hence, they were characterized by their demand and supply through data of incident solar energy, temperature, precipitation and water, electricity and food consumption. Subsequently, based on land registry plans, ArcGis 10.3 quantify the surface of available rooftops. As the final step to obtain the real potential, correction factors were applied by area and efficiency. The results indicate that endogenous resources allow meeting the demand of electricity, water and horticulture products. In addition, environmental analysis using Life Cycle Assessment with the IPCC 2013 assessment method showed that there is a significant reduction of GHG emissions, which varies in each city due to the particular electric mix of comparison. Finally, through the sensitivity analysis, particular values that certain parameters of urban growth should keep are determined in order to secure the safety between the urban nexus and the environmental sustainability.

Índice de contenidos

Capítulo I: Introducción	01
1.1 Antecedentes	01
1.2 Justificación	04
1.3 Objetivos y alcance	06
Capítulo II: Materiales y métodos	07
2.1 Marco teórico	07
2.2 Selección de las ciudades	08
2.3 Información de caracterización territorial	12
2.3.1 Ámbito geográfico y de medio ambiente	12
2.3.2 Ámbito socio económico	12
2.4 Metabolismo urbano: consumo y potencial de recursos	14
2.4.1 Consumo energético, hídrico y alimenticio	14
2.4.2 Recursos endógenos urbanos	20
2.5 Tecnologías y elementos de adaptación de cubiertas	23
2.5.1 Módulos solares fotovoltaicos	23
2.5.2 Tanque de almacenamiento de agua de lluvia	23
2.5.3 Huertos urbanos y cultivos potenciales	24
2.6 Computación de área urbana y densidad demográfica residencial	24
2.7 Procedimiento para cuantificar el grado de autosuficiencia	25
2.7.1 Factores de corrección	26
2.8 Procedimiento para calcular la reducción de GEI	31
2.8.1 Inventario de ciclo de vida	33
2.8.2 Método de análisis IPCC 2013 100a	34

Capítulo III: Resultados	35
3.1 Energía	35
3.2 Agua	42
3.3 Alimentos	45
Capítulo IV: Discusión	47
4.1 Potencial de autosuficiencia.....	47
4.2 Emisión de GEI y relevancia ambiental	48
4.3 Análisis de sensibilidad	49
Capítulo V: Conclusiones	52
Referencias	53



Índice de tablas

Tabla 2.1 Aspectos generales de las ciudades seleccionadas	10
Tabla 2.2 Consideraciones de dinamismo económico y vulnerabilidad	13
Tabla 2.3 Consideraciones geográficas, morfológicas y sociales	13
Tabla 2.4 Características de la producción y distribución eléctrica	14
Tabla 2.5 Características del sector saneamiento	16
Tabla 2.6 Estaciones meteorológicas de referencia	20
Tabla 2.7 Factores de corrección para el vector energía	27
Tabla 2.8 Factores de corrección del vector energía para Ica	28
Tabla 2.9 Factores de corrección del vector energía para Ayacucho	29
Tabla 2.10 Factores de corrección del vector energía para Pucallpa	30
Tabla 2.11 Factores de escorrentía del vector agua	30
Tabla 2.12 Consideraciones del inventario de ciclo de vida	34
Tabla 3.1 Factores de corrección por área en energía	36
Tabla 3.2 Superficie efectiva fotovoltaica urbana	36
Tabla 3.3 Factores de corrección por eficiencia y potencial FV	37
Tabla 3.4 Autosuficiencia alimentaria y emisiones de GEI asociada.	46
Tabla 4.1 Escenarios del análisis de sensibilidad energético	49

Índice de figuras

Figura 2.1 Emisión de carbono equivalente por kWh en Perú y España	9
Figura 2.2 Porcentaje de población peruana por regiones climatológicas	10
Figura 2.3 Ubicación climatológica de las ciudades seleccionadas	11
Figura 2.4 Ubicación geográfica de las ciudades seleccionadas	11
Figura 2.5 Consumo de energía eléctrica en kWh per cápita.....	15
Figura 2.6 Curva de carga eléctrica y potencia media en Perú	15
Figura 2.7 Consumo de agua potable en m ³ per cápita	17
Figura 2.8 Consumo de agua por usos en una vivienda promedio	17
Figura 2.9 Consumo de hortalizas (kg) anual per cápita.....	18
Figura 2.10 Consumo de frutas anual per cápita	19
Figura 2.11 Consumo de menestras y tubérculos anual per cápita	19
Figura 2.12 Velocidad de viento a 80 m de altura.....	20
Figura 2.13 Energía solar incidente	21
Figura 2.14 Temperatura promedio mensual en °C	22
Figura 2.15 Precipitación mensual en mm.....	22
Figura 2.16 Modelo espacial urbano	24
Figura 2.17 Polígonos representativos	25
Figura 2.18 Perfil de techo promedio en Ica/ modelo de distribución.....	28
Figura 2.19 Perfil de techo promedio en Ayacucho/ modelo de distribución.	29
Figura 2.20 Perfil de techo promedio en Pucallpa/ modelo de distribución...	30
Figura 2.21 Metodología para autosuficiencia energética.....	31
Figura 2.22 Metodología para reducción de GEI	32
Figura 3.1 Autosuficiencia energética en Ica	38
Figura 3.2 Autosuficiencia energética en Ayacucho	39
Figura 3.3 Autosuficiencia energética en Pucallpa	39
Figura 3.4 Reducción de emisión de GEI en Ica.....	40
Figura 3.5 Reducción de emisión de GEI en Ayacucho.....	41

Figura 3.6 Reducción de emisión de GEI en Pucallpa	41
Figura 3.7 Autosuficiencia hídrica en Ayacucho	42
Figura 3.8 Autosuficiencia hídrica en Pucallpa	43
Figura 3.9 Variación de emisiones de GEI en Ayacucho	44
Figura 3.10 Variación de emisiones de GEI en Pucallpa	44
Figura 4.1 Escenarios 01 y 03 del análisis de sensibilidad energético	50
Figura 4.2 Escenario 02 del análisis de sensibilidad energético	51
Figura 4.3 Escenario 04 del análisis de sensibilidad energético	51

Acrónimos

ACV	Análisis de Ciclo de Vida
BID	Banco Interamericano de Desarrollo
Emapacop	Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Coronel Portillo
Emapica	Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Ica
EPSASA	Entidad Prestadora de Servicios de Saneamiento de Ayacucho
GEI	Gases de efecto invernadero
GWP	Global Warming Potential
ICV	Inventario de Ciclo de Vida
ICTA	Institut de Ciència i Tecnologia Ambientals
INEI	Instituto Nacional de Estadística e Informática
LCA	Life Cycle Assessment
MINAM	Ministerio del Ambiente (Perú)
MINEM	Ministerio de Energía y Minas (Perú)
PNUD	Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo
Senamhi	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología
SIG	Sistema de Información Geográfica
SINIA	Sistema Nacional de Información Ambiental
OMS	Organización Mundial de la Salud

Capítulo I: Introducción

1.1 Antecedentes

Escenario actual de las ciudades

En los últimos años, se han incrementado proyectos de producción de energía a partir de fuentes fósiles. En Perú, el aporte de las plantas termoeléctricas al mix nacional es cada vez mayor, fuentes renovables tradicionales como hidroeléctricas han decrecido en aporte (Vázquez – Rowe et al., 2015). La demanda de energía eléctrica, agua y alimentos se incrementa, por tanto es necesaria la transición a sistemas de bajo consumo de carbono que puedan suplir estos requerimientos. Si bien existe mayor concientización ambiental, todavía la información es limitada y poco aplicada en ambientes urbanos.

Las ciudades concentran un alto porcentaje de la población mundial y de la actividad económica. Según el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) el desafío de alcanzar un crecimiento urbano sostenible es fundamental para que las decisiones que se tomen en la actualidad no comprometan el bienestar de las futuras generaciones (BID, 2009). Las Naciones Unidas (UN por sus siglas en inglés) proyecta una población urbana de más de 6500 millones de personas para el 2050 producto de la urbanización. (UN, 2016). El proceso de urbanización de las ciudades es uno de los más importantes indicadores de cambio de la productividad en la economía global (Floater et al., 2014). Gran parte de la economía global se genera en las ciudades a través de actividades económicas, servicios y canales de comunicación permanente. Por ejemplo, en América Latina y el Caribe (ALC) las ciudades cumplen un rol clave, aproximadamente el 70% del Producto Bruto Interno (PBI) de ALC se genera en sus ciudades (BID, 2011).

Los procesos que se llevan a cabo en las ciudades precisan de energía, agua y alimento los cuales provienen de fuentes externas que generan gran cantidad de GEI cuantificada en carbono equivalente liberado. Estudios realizados en cinco ciudades: Leeds (UK), Lima (Perú), Calcuta (India), Palembang (Indonesia) y Johor Bahru (Malasia) sugieren que invertir en

políticas de bajo carbono como energía renovable local, vehículos eficientes de transporte público, entre otros reducen significativamente el uso de energía y emisiones de GEI en un rango de 10 a 24% en los próximos 10 años. Asimismo, de ser replicada la inversión en las demás ciudades a nivel global se estima que se podría reducir hasta en 18% las emisiones de GEI en relación al uso de energía (Gouldson et al., 2014).

Por lo tanto, a manera de resumen, las ciudades no son autosuficientes, existe un constante proceso de urbanización y desempeñan el rol más importante en la economía del planeta a través de los procesos económicos llevados a cabo en ellas. Asimismo, poseen requerimiento de energía, agua y alimento. Actualmente, generan impactos ambientales negativos considerables por seguir un modelo de alto consumo de carbono.

Metabolismo urbano y desarrollo sostenible

La problemática climática y medio ambiental se perfila cada vez más como un reto para las ciudades, especialmente por los procesos de rápida urbanización que se llevan a cabo. El análisis del contexto de una ciudad es mejor entendido a través del metabolismo urbano el cual define las entradas y salidas de flujo de materia y energía (Delgado et al., 2012). El escenario de rápida urbanización ha generado, de manera más evidente, un aumento intensivo de los patrones metabólicos del ser humano (Ramos, 2014).

Rediseñar los modelos de metabolismo urbano es consecuente con la toma de decisiones para que no se comprometa el bienestar de las actuales y futuras generaciones. Precisamente, el desarrollo sostenible en las ciudades, principalmente de ALC, representa un gran desafío para la política territorial – urbana en sus distintos niveles (Leff et al., 2002). Se requiere la convergencia en el entorno urbano de internalizar los costos ambientales, resolver inequidades sociales y abordar restricciones económicas (Winchester, 2006).

Instituciones internacionales plantean enfrentar el desafío de las políticas urbanas y habitacionales de ALC con distintos programas e iniciativas de capacitación. Un ejemplo es el proyecto Instrumentos y Estrategias de Gestión Urbana para el Desarrollo Sostenible (GUDS) desarrollado por la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) (Borja, 2003).

Diferentes estudios indican que aplicar los conceptos de metabolismo urbano y desarrollo sostenible han permitido definir mejor los lineamientos de planificación y diseño urbano (Kennedy et al., 2011). Junto con la definición de las políticas de planificación urbana también se han integrado conceptos de seguridad alimentaria, energética e hídrica en las ciudades.

Para el caso de la seguridad alimentaria, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) busca erradicar la subalimentación, cuyo valor se redujo de 14.4 a 5.1% entre los años 1990 y 2014. Adicionalmente, existe la visión de eliminar el hambre a través de propuestas como diseño, implementación y monitoreo de políticas públicas de apoyo a la agricultura familiar (CEPAL, 2016). Asimismo, se han realizado investigaciones donde los sistemas integran la agricultura dentro del ambiente urbano; por ejemplo, en Barcelona se observó que la implementación de huertos urbanos en la cubierta de las edificaciones (RTGs por sus siglas en inglés) reduce la huella de carbono de los productos agrícolas, además de asegurar el abastecimiento en los hogares. Estos sistemas sustentan el diseño urbano de bajo consumo de carbono (Sanyé-Mengual et al., 2015).

Para el aspecto de abastecimiento de agua por fuentes no convencionales, por ejemplo, investigadores de la Universidad de Autònoma de Barcelona (UAB) realizaron una evaluación del perfil de techos para captación de lluvia. (Farreny et al., 2011). Asimismo, la UAB en trabajo conjunto con la Universidad Politècnica de Catalunya (UPC) ejecutó un análisis ambiental de captación de precipitación para un modelo urbano compacto y uno difuso en clima mediterráneo. Se definieron estrategias para ambientes urbanos de diferentes densidades, los resultados indicaron una reducción de impacto asociado a este aspecto de 73% en el modelo difuso y de 92% en el modelo compacto, ambos planteados en el peor escenario (Angrill et al., 2012).

Para el aspecto de producción, distribución y seguridad energética, la UPC ha estudiado la factibilidad de aprovechamiento de energía eólica en ambientes urbanos (Ranaboldo et al., 2014). Otros estudios, en diferentes ciudades europeas como Luxemburgo, señalan la importancia de avanzar en metas sostenibles en temas como energía renovable (Mastrucci et al, 2014).

De la misma manera, el potencial eléctrico de los ambientes urbanos se ha estudiado a través de implementación de turbinas de ejes horizontales y verticales; como resultado de esta investigación, se ha determinado que aquellas de eje vertical son preferibles en producción de menor escala por adaptarse a flujos bajos y turbulentos, además de reducción de ruido. La energía eólica generada no posee emisiones de GEI significativas y previene la expansión innecesaria de red de distribución (Ishugah et al., 2014).

En Europa occidental es donde se han desarrollado mayores estudios respecto a energía renovable, captación de agua de fuentes no convencionales y huertos urbanos. La investigación en ALC es todavía reducida, existen algunas ideas en soluciones sostenibles como por ejemplo la formulación de una serie de propuestas que presenten las oportunidades y beneficios de implementar sistemas de energía renovable en la región (Coviello, 2003), pero sin considerar aún el entorno urbano.

Definir un escenario sustentable en las ciudades de ALC es un desafío respecto del desarrollo sostenible en la región (Winchester, 2006). En las ciudades de Perú, como en aquellas en desarrollo alrededor del mundo, se ha adoptado un modelo dependiente sin considerar el potencial de recursos de su área geográfica (Leff, 2002). Adicionalmente, la rápida urbanización, la informalidad y el crecimiento difuso de las ciudades son factores que incrementan la necesidad de replantear la planificación urbana (Jordán et al., 2003). Modelar y caracterizar una ciudad en ALC y ejecutar el ACV existen limitados estudios. Inclusive, la posibilidad de transformar en auto suficientes sus ciudades es todavía una incertidumbre (Gouldson et al., 2014).

1.2 Justificación

Las ciudades requieren del nexo urbano energía – agua y alimentos para llevar a cabo sus procesos. Los sistemas actuales, sin embargo, están sustentados en alto consumo de carbono. Según los lineamientos de protección medioambiental (Acuerdo de París del 2016), es de interés internacional reducir significativamente las emisiones de gases de efecto invernadero. En términos de calentamiento global, los sectores electricidad y transporte son los de mayor aporte.

Las ciudades constituyen los núcleos fundamentales donde se desarrollan las principales actividades económicas y sociales que dinamizan la economía de los países. Dichas actividades económicas permiten el crecimiento de los servicios y mejores condiciones de vida para los ciudadanos. Para que las actividades que acontecen en una ciudad se desarrollen con normalidad se requiere de energía, agua y alimentos (Terradas et al., 2011).

Actualmente, este requerimiento está generando una diversificación de daños al medio ambiente cuantificados en emisiones de GEI y consumo de recursos. Asimismo, el posible desabastecimiento de los elementos de dicho mosaico pone en riesgo la dinámica económica y desarrollo de la ciudad. Es por estos motivos que es fundamental proporcionar tecnologías y elementos para la implementación de energía renovable in situ, captación de agua de precipitación y huertos urbanos.

En la actualidad, la energía que abastece a las ciudades tiene un origen mixto (Lutz, 2001). Ésta proviene de fuentes de origen renovable (energía hidroeléctrica), pero también de origen fósil las cuales involucran procesos altamente contaminantes (Batlle et al., 2012). Ambas formas de producción comparten la característica de tener que ser transportadas desde su punto de generación a la ciudad. La ciudad es dependiente de fuentes externas sin evaluar el potencial de sus recursos endógenos.

Por otro lado, el abastecimiento de agua en las ciudades proviene de la escorrentía de ríos y agua subterránea. El agua de precipitación en el área urbana no es considerada (Ushñahua, 2004). Según las características de pluviometría del área geográfica donde se ubica la ciudad podrá considerarse significativo el aporte de la precipitación.

Respecto del abastecimiento de alimentos, existe dependencia de productos agrícolas de alta demanda de las zonas rurales. Las ciudades pueden ser desabastecidas de presentarse inconvenientes durante el transporte de alimentos importados de otras zonas. Los huertos urbanos podrían consolidarse como alternativa para abastecer la canasta de alimentos agrícolas en los hogares (Sanyé-Mengual et al., 2018).

1.3 Objetivos y alcance

Contextualmente, se analiza la implementación de tecnologías de captación de recursos endógenos dentro del área de una ciudad. El objetivo principal es determinar el grado de autosuficiencia del nexo energía – agua - alimentos en ambientes urbanos y la consecuente reducción de las emisiones de GEI. El estudio se realiza para tres ciudades en cada región geográfica del Perú. La reducción del potencial de calentamiento global es prioridad como parte del compromiso medioambiental del país (MINAM, 2015).

Los objetivos específicos definen el orden metodológico: (i) describir el estado del arte en el uso de recursos endógenos territoriales dentro del diseño urbano sostenible; (ii) caracterizar las ciudades seleccionadas en los ámbitos socio económico y ambiental. La recopilación de información se hace con visitas técnicas en campo y a instituciones responsables; (iii) desarrollar una metodología replicable que defina los datos y procedimientos para cuantificar los factores de autosuficiencia y reducción de emisiones de GEI; (iv) presentar e interpretar los resultados y discutir la proyección a futuro a través de un análisis de sensibilidad. Identificar las principales conclusiones del estudio.

El alcance abarca la recopilación, estructuración y análisis de los datos de caracterización de las ciudades elegidas como casos de estudio. Para la región costa se ha elegido a Ica, para la región sierra o andina se ha elegido a Ayacucho y, por último, para la región selva o amazónica a Pucallpa. Posteriormente, se define el procedimiento para cuantificar el grado de autosuficiencia y la reducción de emisiones de GEI, la cual es una política nacional de transición a sistemas de bajo consumo de carbono (MINAM, 2009, 2011), limitando a aquellos de consumo intensivo de carbono.

Capítulo II: Materiales y métodos

2.1 Marco teórico

La línea de investigación *ciudades sostenibles* estudia la posibilidad de implementar tecnología y elementos en ambientes urbanos que incrementen la sostenibilidad. Los subtemas de investigación que se desarrollan son: implementación de energía renovable no convencional, captación de agua de lluvia y aplicación de agricultura urbana. En este contexto, es importante definir los conceptos asociados a la investigación: (i) *metabolismo urbano*, es el intercambio de materia y energía entre la ciudad y su entorno natural o contexto geográfico, el flujo generado está provocando desequilibrios en el medio natural (Delgado et al., 2012); (ii) *desarrollo sostenible*, es el crecimiento económico y tecnológico con satisfacción de las necesidades sociales sin que se comprometa la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer sus propias necesidades (Riechmann, 1995); (iii) *ACV*, es una metodología de análisis que identifica, cuantifica y discrimina los diferentes impactos ambientales potenciales, asociados a cada una de las etapas del ciclo de vida de un producto, proyecto o sistema, es requerido definir la unidad funcional de análisis y los límites del estudio (Rodríguez, 2003), el software SimaPro versión 8.2.0 permite alcanzar este fin; (iv) *SIG*, son una herramienta de visualización geográfica de versatilidad de utilidades y aplicaciones que se clasifican en dos grandes grupos: gestión y descripción del territorio, y ordenamiento y planificación del territorio (Sendra et al., 2000).

Adicionalmente, sobre la base de los vectores de estudio también se define los conceptos más importantes asociados a éstos: (a) la *autosuficiencia energética* es la capacidad que tiene el área geográfica de generar energía (generalmente eléctrica) a través de equipos especializados (Martín, 2000); (b) la *captación de agua de lluvia* para uso doméstico podría reducir la huella hídrica en edificaciones y, por lo tanto, de la ciudad (Morán Alonso, 2011); (c) la *agricultura urbana* es el cultivo de productos agrícolas en espacios urbanos, generalmente en la cubierta de las edificaciones, su aplicación se denomina huertos urbanos y podría asegurar el abastecimiento de ciertos alimentos.

La metodología desarrollada permite ser aplicada en cualquier ambiente urbano. Los casos de estudios, los cuales son tres ciudades medianas con una climatología y estructura urbanística particular, son altamente representativas debido a que, aproximadamente, dos tercios de la población peruana residen en ciudades con las mismas características. Para la evaluación de grandes ciudades, es pertinente considerar otras características que están fuera del alcance de este estudio. La hipótesis prevé que la implementación de tecnología y elementos de captación de recursos endógenos, aplicados en ciudades de mediano tamaño de Perú, afianzará la seguridad energética – hídrica y alimenticia, y reducirá las emisiones de GEI.

2.2 Selección de las ciudades

Realidad peruana urbana

En la justificación del estudio se describió los problemas que se buscan resolver con la implementación de tecnologías específicas en el ambiente urbano. Sin duda, existen otros desafíos en las ciudades que serán motivo de futuras investigaciones. Para hacer la elección de los casos de estudio, es pertinente tomar conocimiento del contexto asociado.

El acceso a los productos agrícolas y servicios de energía, agua en el Perú posee las siguientes características. (i) *Energía eléctrica*, proviene de diferentes fuentes de producción y atraviesa la distancia desde su punto de generación hasta las ciudades. El mix eléctrico del Perú ha sido influenciado en los últimos años por la explotación de fuentes de origen fósil incrementando las emisiones de GEI (Vázquez et al, 2015). En términos de potencial de calentamiento global, se ha incrementado la emisión de carbono equivalente por kWh producido debido al mayor uso de fuentes fósiles.

En otros países, sin embargo, se ha iniciado con la implementación de energía renovable no convencional: eólica y solar fotovoltaica. Por ejemplo, España ha reducido el valor de carbono equivalente por kWh debido a la mayor presencia de energía renovable y la reducción en el uso de energías de origen fósil y nuclear. La Figura 2.1 compara la variación del potencial de cambio climático entre España y Perú en las últimas décadas.

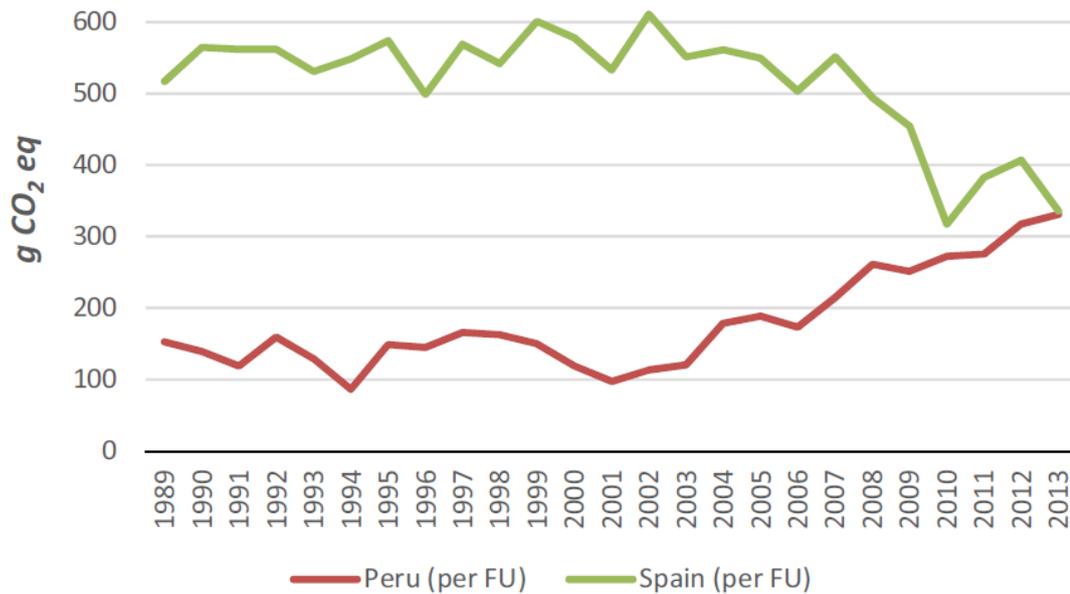


Figura 2.1 Emisión de carbono equivalente por kWh en Perú y España (Vázquez – Rowe et al, 2015).

(ii) *Agua de uso urbano*: proviene de fuentes superficiales y subterráneas. El agua de precipitación no es considerada para abastecer la demanda. En función de las condiciones pluviométricas de cada ciudad podría ser beneficioso implementar un sistema de captación de agua. (iii) *Alimentación y nutrición*: la población rural se ha reducido. No obstante, los alimentos en su forma primaria continúan llegando de estas zonas. En algunas oportunidades se ha interrumpido el tránsito de alimentos por diferentes motivos de origen natural y social, poniendo en riesgo la seguridad alimentaria. Así también, en algunas ciudades, existe una ingesta de alimentos desequilibrada.

Criterios de selección

El Perú posee tres regiones geográficas y ocho regiones climatológicas. En la clasificación geográfica. (i) Costa o desierto costero, con escasa precipitación, las ciudades más grandes del Perú se concentran en esta región. (ii) Sierra o andina con clima que varía de seco templado cálido a frío. (iii) Selva o amazónica donde las precipitaciones son intensas durante todo el año con temperaturas cálidas tropicales (De La Cruz, 2016). Ica, Ayacucho y Pucallpa fueron seleccionadas, respectivamente y son representativas cada una de su región. Además, concentran gran parte de la población del Perú, como se observa en la Figura 2.2. Su ubicación se observa en las Figuras 2.3 y 2.4.

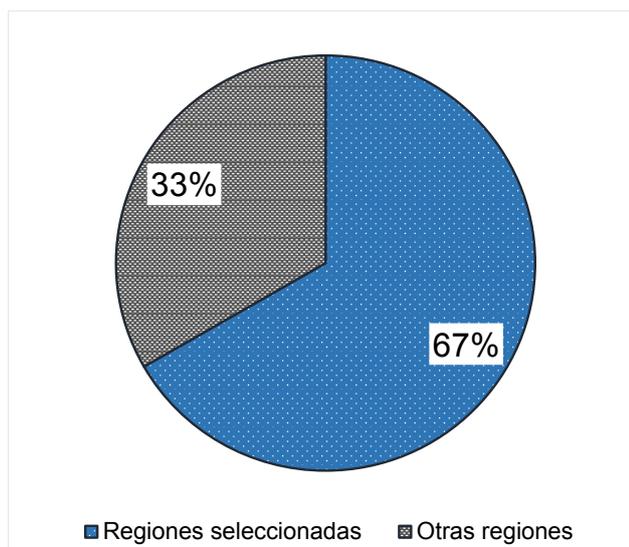


Figura 2.2 Porcentaje de población peruana por regiones climatológicas (elaboración propia con datos de INEI).

Las ciudades seleccionadas tiene la clasificación de ambiente urbano emergente (BID, 2011) y tienen un alto grado de representatividad. Los principales aspectos observables son: tamaño de población media, origen de inmigración rural, región climatológica y geográfica respectiva, radiación solar, pluviometría anual, nivel de nutrición. La Tabla 2.1 expresa estos indicadores, así como la aplicación de la metodología desarrollada en otros casos.

Tabla 2.1 Aspectos generales de las ciudades seleccionadas.

	Ica	Ayacucho	Pucallpa
Población	240 mil	183 mil	211 mil
Inmigración	Sierra central y sur	Sierra central y sur	Sierra norte y central
Región climatológica	Chala	Quechua	Omagua
Geografía	Desierto costero	Valle interandino	Llanura amazónica
¿Es replicable la metodología?	Sí	Sí	Sí
Radiación solar	Alta	Alta	Media
Precipitación anual	Baja	Media	Alta
Nutrición	Alta	Media	Media
Grado de representatividad	Alto	Alto	Alto

(Elaboración propia con datos INEI 2015).

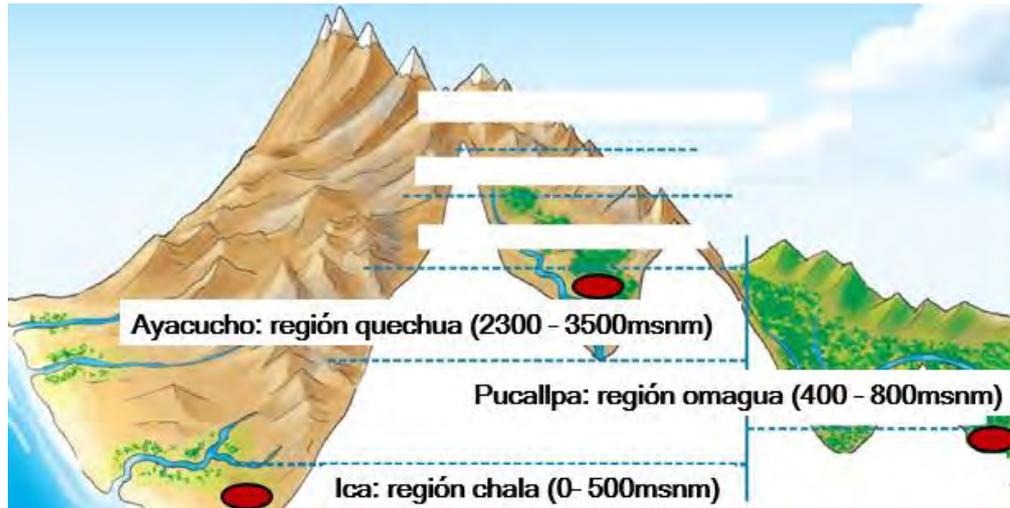


Figura 2.3 Ubicación climatológica de las ciudades seleccionadas (Pulgar Vidal, 1938).



Figura 2.4 Ubicación geográfica de las ciudades seleccionadas (SINIA, 2017).

2.3 Información de caracterización territorial

2.3.1 Ámbito geográfico y de medio ambiente

Los datos que se evalúan no tienen una antigüedad mayor a 10 años y se utiliza el promedio de datos de los últimos 6 años disponibles, estos datos se han registrado mensualmente. Para estudios similares en otras ciudades los datos utilizados deberán tener estas características.

Fundamentalmente, es necesario conocer: (i) *velocidad de viento*, potencial de generación de energía eólica, determina la factibilidad de implementar turbinas eólicas, valores superiores a 10 m/s se consideradas apropiado; (ii) *radiación solar*, potencial de generación de energía solar fotovoltaica en la superficie terrestre, valores por encima de 4 kWh/m²/día son apropiados para implementar módulos solares; (iii) *temperatura*, registro de valores medios, máximos y mínimos, posee influencia en la eficiencia de módulos solares y baterías, algunos cultivos son sensibles a bajas temperaturas; (iv) *pluviometría*, registro de milímetros de precipitación mensual y el acumulado anual, define, en gran parte, si es viable implementar un sistema de captación de agua de lluvia.

2.2.2 Ámbito socio económico

Por otro lado, es requerido conocer los siguientes indicadores. (i) *Nivel de pobreza*, expresado en porcentaje económicamente vulnerable de la población. Determina en qué ciudades y distritos es más requerida la seguridad en los servicios. (ii) *Densidad demográfica*, relación entre cantidad de personas y el área que ocupan. Valores bajos son menores a 2000 hab/km² y es donde existe proyección de crecimiento en altura y no en área. (iii) *Uso de suelo*, no se considera los centros históricos ya que su valor patrimonial podría verse afectado. Las zonas residenciales y comerciales son las más factibles para implementar tecnologías de captación de recursos endógenos, especialmente en espacios infrautilizados como los techos. (iv) *Consumo de energía eléctrica*, demanda para las principales actividades económicas. Actividades industriales y comerciales son de mayor consumo que las residenciales y

alumbrado público. (v) *Consumo* de agua, demanda del servicio básico. Una parte es para uso potable y otra para no potable. (v) *Consumo de alimentos*, estadísticas que indican las tendencias por zona y los mayores nutrientes que se consume. Asimismo, indica las deficiencias nutricionales por la ausencia de ciertos productos. Las Tablas 2.2 y 2.3 resumen las características económicas, sociales y de morfología urbana respectiva.

Tabla 2.2 Consideraciones de dinamismo económico y vulnerabilidad.

	Ica	Ayacucho	Pucallpa
Vías de comunicación	Terrestre y marítima	Terrestre y aérea	Terrestre, área, fluvial
Flujo de intercambio de productos y servicios	Altamente dinámico	Alto	Medio
Actividades económicas principales	Comercio, servicios, industria, agricultura y turismo	Turismo, comercio, agricultura y servicios	Silvicultura, turismo y comercio
Vulnerabilidad energética	Baja	Media	Media
Vulnerabilidad hídrica	Alta	Media	Media
Vulnerabilidad alimenticia	Baja	Media	Alta

(Elaboración propia con datos del BCRP [2016]).

Tabla 2.3 Consideraciones geográficas, morfológicas y sociales.

	Ica	Ayacucho	Pucallpa
Número de pisos promedio (edificios)	5	4	2
Población	244 mil	183 mil	211 mil
Perfil promedio de techo	Plano	Mixto	Inclinado
Región geográfica	Costa	Sierra	Selva
Región climatológica	Chala	Quechua	Omagua
Sismicidad	Alta	Baja	Baja
Tipo de suelo	Arena arcillosa	Grava limosa	Arcilla
Orografía	Plana	Mixta	Plana
Material de acabado de techo	Cemento	Teja de arcilla	Madera
Pobreza (%)	8.6	43.8	17.9

(Elaboración propia con datos del BCRP [2016], INEI: Perú estimaciones y proyecciones de población según departamento, provincia y distrito 2012 – 2015, INEI: Producto Bruto Interno por departamento 2014, BID: Perú: Atlas de la Pobreza Regional, Provincial y Distrital 2007 – 2009).

2.4 Metabolismo urbano: consumo y potencial de recursos

2.4.1 Consumo energético, hídrico y alimenticio

Consumo de energía eléctrica

La Tabla 2.4 indica las características del consumo eléctrico de las tres ciudades analizadas. Nótese la composición del mix eléctrico en cada caso, la cual determina la mayor o menor contribución del potencial de calentamiento global (emisiones de GEI): (i) *costa*, éste es la combinación entre termoeléctrico de gas natural e hidroeléctrico; (ii) *sierra*, la fuente es, predominantemente, hidroeléctrica con una contribución mínima de termoeléctrica de gas natural; (iii) *selva*, éste es completamente termoeléctrico a base de petróleo. Adicionalmente, las ciudades de la selva no se encuentran conectadas a la red eléctrica nacional. No existe presencia de energía renovable urbana (convencional o no convencional).

Tabla 2.4 Características de la producción y distribución eléctrica.

	Ica	Ayacucho	Pucallpa
Fuente de origen de la energía	Termoeléctrica de gas natural e hidroeléctrica	Predominantemente hidroeléctrica, contribución termoeléctrica de gas natural	Termoeléctrica de petróleo
Empresa distribuidora	Electro Dunas	Electrocentro	Electro Ucayali
Presencia de energía renovable urbana	NO	NO	NO
Conexión a la red nacional eléctrica	SÍ	SÍ	NO

(Elaboración propia con datos Electro Dunas, Electrocentro y Electro Ucayali, comunicación personal, 2016).

La Figura 2.5 presenta el consumo de energía eléctrica per cápita en base al registro de las empresas distribuidoras. Obsérvese que la demanda en las ciudades de la costa es, considerablemente, mayor que en la de las ciudades de las otras regiones. En éstas últimas el requerimiento es, aproximadamente, igual. Esta diferencia se debe a que existe mayor actividad económica de tipo industrial en estas ciudades.

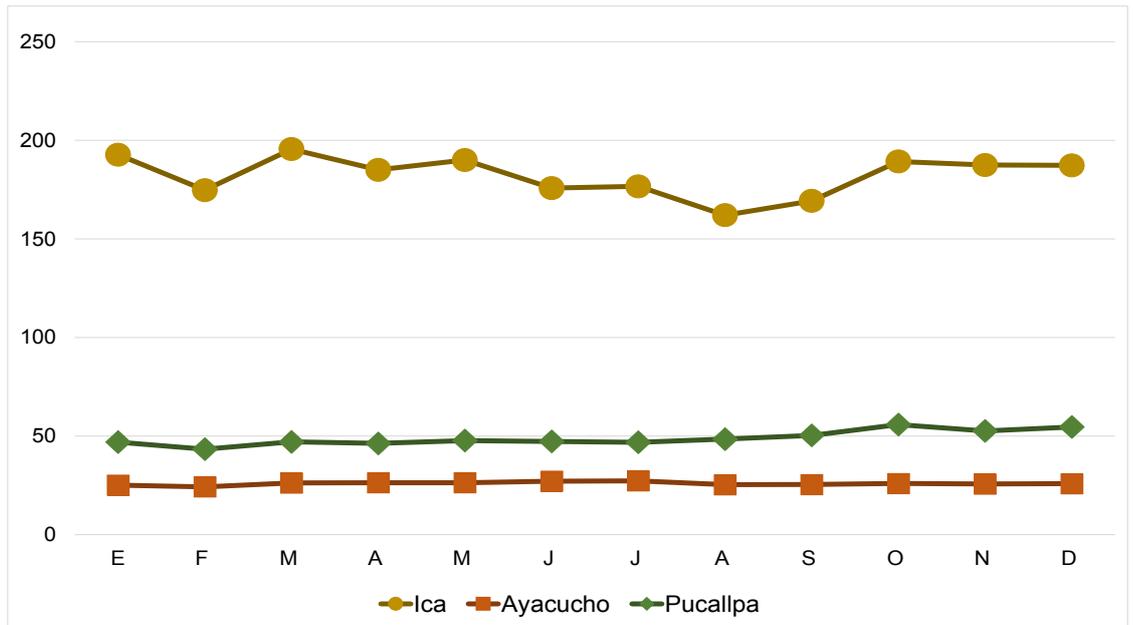


Figura 2.5 Consumo de energía eléctrica en kWh per cápita (elaboración propia con datos Electro Dunas, Electrocentro y Electro Ucayali, valores promedio entre 2010 a 2015, e INEI, 2015).

La Figura 2.6 indica la variación de consumo de energía en un día típico, los colores azules representan las horas sin luz solar, por el contrario, los colores amarillos indican las horas solares donde se capta, usa y almacena la energía solar, es en este lapso donde se registra la energía solar incidente mínima diaria utilizada en el cómputo de resultados.

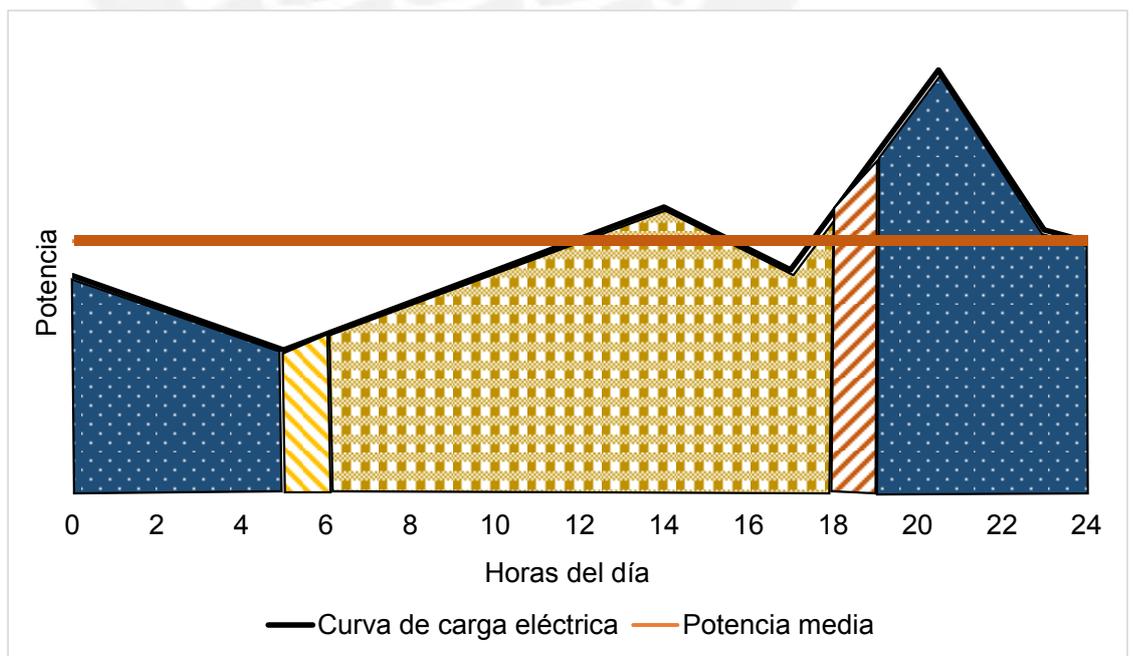


Figura 2.6 Curva de carga eléctrica y potencia media en Perú (adaptado de Osinergmin, 2017).

Consumo de agua

La Tabla 2.5 indica las principales características que presentan cada ciudad evaluada. Los ríos son la principal fuente de abastecimiento de agua, en la costa y selva el abastecimiento también se complementa con fuentes subterráneas. El tratamiento de aguas residuales es parcial para todos los casos de estudio, éste sólo es un tratamiento básico.

Tabla 2.5 Características del sector saneamiento.

	Ica	Ayacucho	Pucallpa
Fuente de agua	Fluvial y subterránea	Fluvial	Fluvial y subterránea
Empresa potabilizadora y distribuidora	EMAPICA	EPSASA	EMAPACOP
Tratamiento de aguas residuales	Parcial y básico	Parcial y básico	Parcial

(Elaboración propia con datos Emapica, Epsasa y Emapacop, comunicación personal, 2016).

La Figura 2.7 indica el consumo per cápita de agua potable, obsérvese que el consumo es aproximadamente similar para los tres casos, en la selva el requerimiento es mayor debido a las altas temperaturas. El sistema de captación y almacenamiento de agua de lluvia es desarrollado en el programa Plugrisost (Morales Pinzón et al., 2011), el cual genera un modelo dinámico de flujos de agua para uso doméstico no potable a partir de fuentes no convencionales. El programa simplifica la realidad a diferentes escalas (i.e. edificación, barrio y ciudad), estima el volumen óptimo de depósito; asimismo, emplea una metodología que genera la interconexión dinámica de todos los subsistemas involucrados (i.e. captación, almacenamiento y distribución para uso doméstico).

Plugrisost está conformado por cuatro componentes: (i) *escala de análisis*; particularmente en esta investigación, se selecciona gran superficie; (ii) *recursos ofertados*, a partir de tres fuentes potenciales para satisfacer la demanda (i.e. red convencional, precipitación y residual); (iii) *depósitos*, determina el volumen óptimo para almacenamiento de agua de lluvia; (iv) *impactos*, se cuantifican sobre la base del ACV. Los datos meteorológicos respectivos de los dos primeros componentes se utilizan para cuantificar los resultados de los dos últimos componentes.

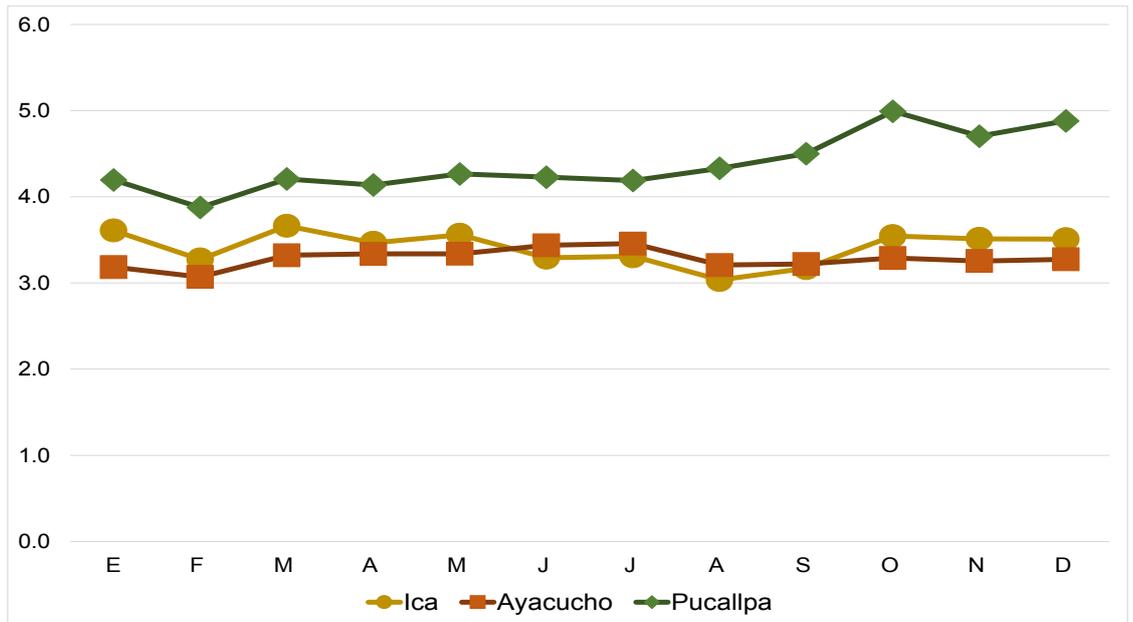


Figura 2.7 Consumo de agua potable per cápita en m³ per cápita (elaboración propia con datos Emapica, Epasa y Emapacopsa, valores promedio entre 2010 a 2015, e INEI, 2015).

La Figura 2.8 indica los desagregados de consumo de agua en una vivienda promedio por usos de agua no potable y potable. El porcentaje objetivo a cubrir es el de uso no potable (color rojo). Obsérvese que el uso potable es mayor, especialmente para fines de limpieza personal. A diferencia del uso no potable, que concentra fines de limpieza general.

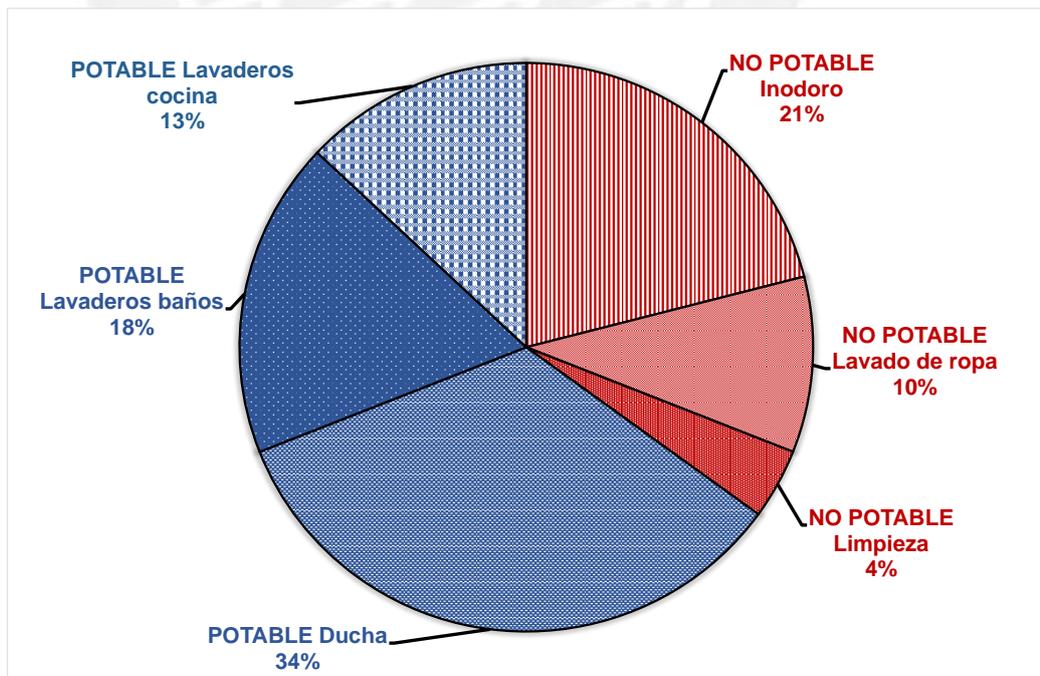


Figura 2.8 Consumo de agua por usos en una vivienda promedio (elaboración propia con datos INEI).

Consumo de alimentos

El consumo de ciertos alimentos se diferencian según cada región geográfica natural: costa, sierra y selva. Para fines de implementación de huertos urbanos, son de interés los siguientes grupos de alimentos:

(i) *Hortalizas*: la tendencia de consumo se centra en cebolla, zanahoria, tomate y zapallo. Son despreciables lechuga, apio, calabaza. El consumo mínimo recomendado de hortalizas es 200gr al día por persona (OMS, 2017). En Ica, cada persona consume al día, en promedio, 125.75 gr de hortalizas, en Ayacucho 143.56 gr y en Pucallpa 57.81 gr. Ninguna de las ciudades evaluadas alcanza el valor recomendado, siendo más crítico en la selva. La Figura 2.9 indica la cantidad de hortalizas que se consume.

(ii) *Frutas*: la Figura 2.10 indica el consumo de frutas (frescas). Se excluye el plátano el cual es la fruta que más se consume: Ica (16.6kg), Ayacucho (19.2kg) y Pucallpa (100.2kg), en la selva su presencia es mayor debido a su disponibilidad. El consumo de frutas es también inferior al recomendado por la OMS, (200gr al día por persona). Solo en la selva se supera el recomendado. En Ica cada persona consume al día, en promedio, 164.66 gr de frutas, en Ayacucho 167.95 gr y en Pucallpa 321.37 gr (principalmente, plátano).

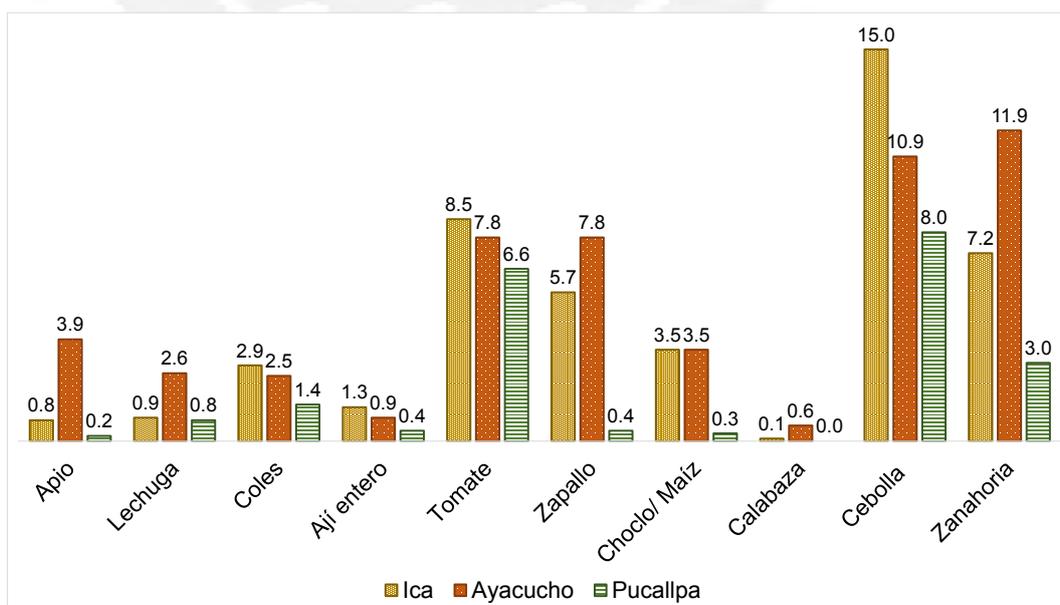


Figura 2.9 Consumo de hortalizas (kg) anual per cápita (elaboración propia con datos de INEI. Perú: consumo per cápita de alimentos 2008 – 2009).

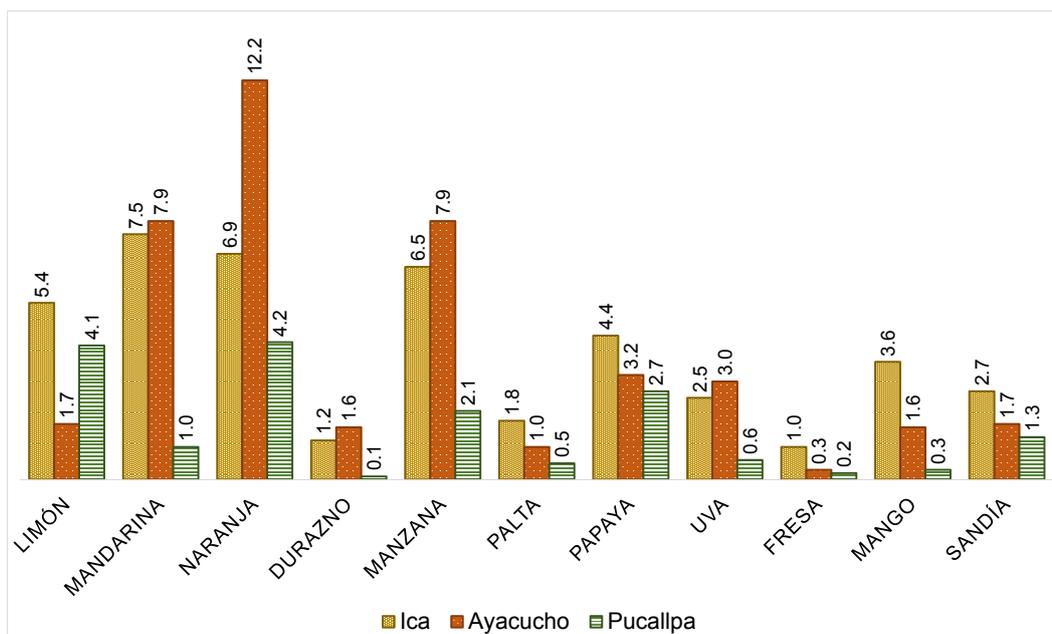


Figura 2.10 Consumo de frutas (kg) anual per cápita (elaboración propia con datos de INEI. Perú: consumo per cápita de alimentos 2008 – 2009).

(iii) *Menestras, legumbres y tubérculos*: el consumo de papa es notable; a diferencia del camote, yuca y olluco. Por otro lado, las menestras están por debajo del valor recomendado el cual es 45gr (OMS, 2003). En Ica cada persona consume al día, en promedio, 29.86 gr de menestras, en Ayacucho 33.15 gr y en Pucallpa 10.97 gr. La Figura 2.11 indica el consumo la variedad de tubérculos y menestras.

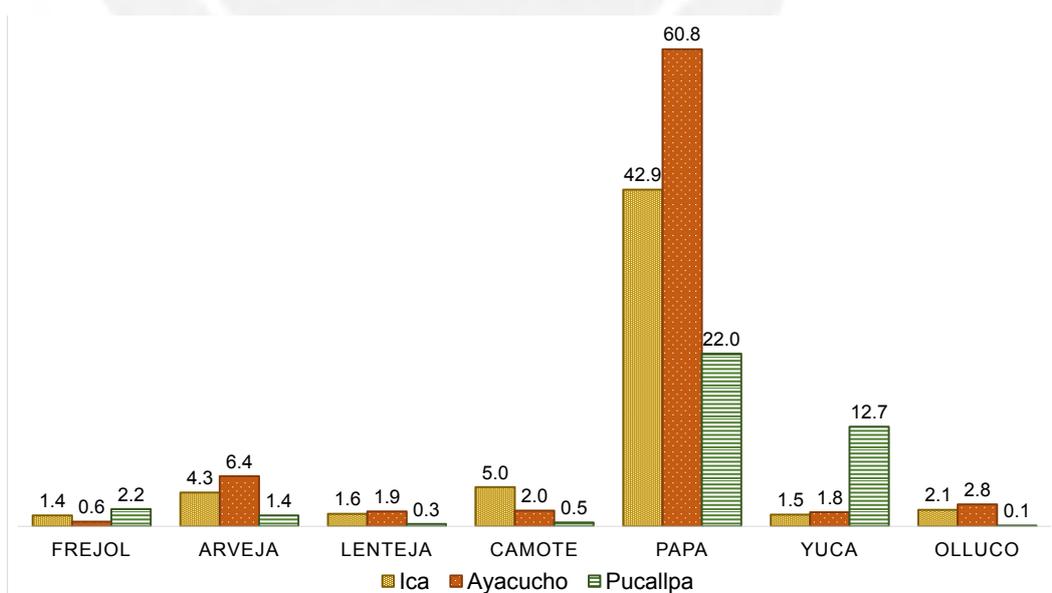


Figura 2.11 Consumo de m/t (kg) anual per cápita (elaboración propia con datos de INEI. Perú: consumo per cápita de alimentos 2008 – 2009).

2.4.2 Recursos endógenos urbanos

La Tabla 2.6 indica las características de las estaciones meteorológicas de referencias para la obtención de datos ambientales.

Tabla 2.6 Estaciones meteorológicas de referencia.

	Tacama	Wayllapampa	Pucallpa
Ciudad evaluada	Ica	Ayacucho	Pucallpa
Latitud	13° 59' 59.1"	13° 4' 36"	8° 24' 47.62"
Longitud	75° 43' 14"	74° 13' 1"	74° 34' 18.67"
Distrito	Salas	Pacaycasa	Callería
Provincia	Ica	Huamanga	Coronel Portillo
Altitud (msnm)	440	2470	162
Distancia al centro de la ciudad (km)	10	15	10

(Elaboración propia con información Senamhi, 2017).

Potencial de energía eólica: la energía eólica es empleada en algunos países donde se verifique que existe la velocidad mínima requerida (10m/s). Este potencial es aprovechado, aún más, con el uso de turbinas eólicas especiales. La Figura 2.12 indica la velocidad de viento promedio en las ciudades evaluadas, nótese que en ninguno de los casos se excede o aproxima al valor mínimo requerido. Por tanto, se descarta en el análisis, el uso de este tipo de energía renovable no convencional.

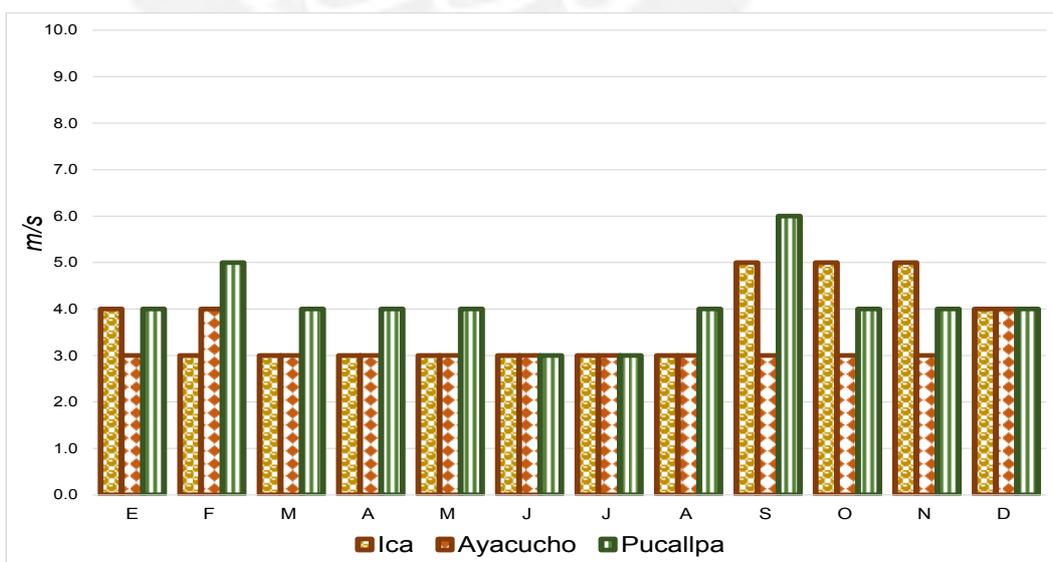


Figura 2.12 Velocidad de viento a 80 m de altura (elaboración propia con datos del Ministerio de Energía y Minas y estaciones meteorológicas del Senamhi, valores promedio entre 2009 – 2014).

Energía solar incidente: por otro lado, la Figura 2.13 muestra la irradiación mínima diaria que alcanza la superficie de cada ciudad. Obsérvese que, para este tipo de recurso, los valores son considerablemente altos. En otros países (España, Alemania, China), donde se han implementado sistemas fotovoltaicos a gran escala, los valores de irradiación mínima diaria no suelen superar los 4 kWh/m². Es por esta oferta que el estudio analiza la implementación de los mencionados sistemas en ambientes urbanos peruanos. En la costa y la sierra los valores son más altos que en la selva, es por eso que muchos proyectos masivos (plantas solares) se están implementando en parte de los desiertos costeros de Perú y Chile, estas plantas solares son centralizadas y requieren de infraestructura de transporte de energía.

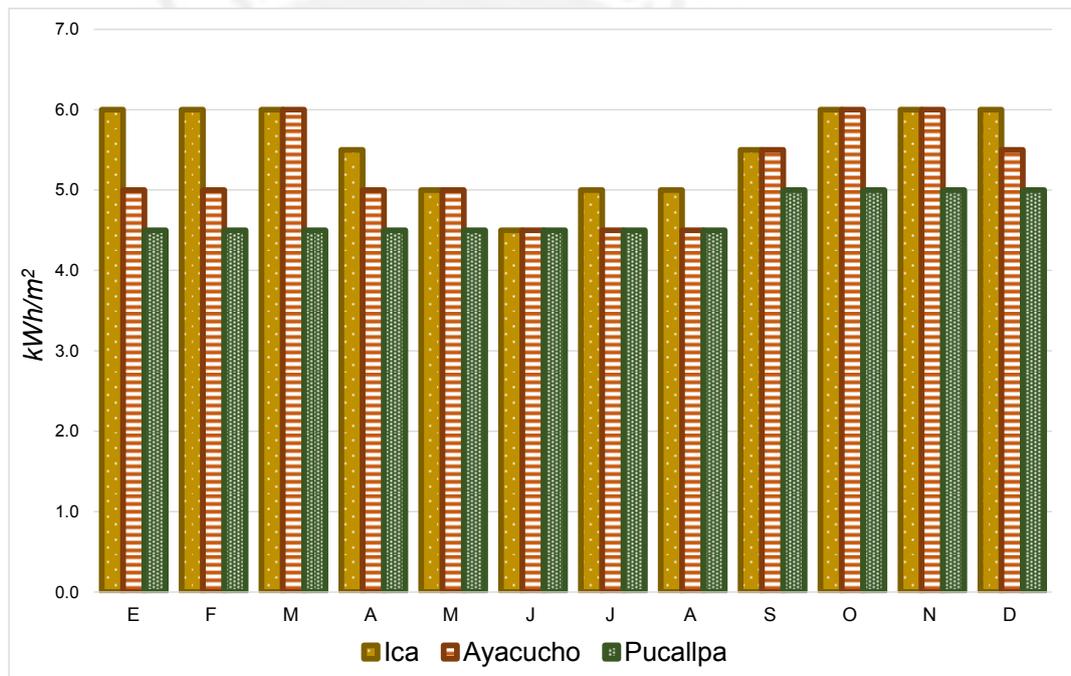


Figura 2.13 Energía solar incidente (elaboración propia con datos de la Dirección General de Investigación y Asuntos Ambientales de Senamhi, valores promedio entre 2009 – 2014).

Temperatura: la región climatológica a la que pertenece cada ciudad tiene valores y tendencias similares. Ica se caracteriza por un clima cálido y seco y humedad relativa del 55%. Ayacucho por un clima templado y seco y humedad relativa del 58%, brillo solar durante todo el año. Pucallpa posee clima tropical: altamente caluroso y húmedo con lluvias intensas durante todos los meses del año.

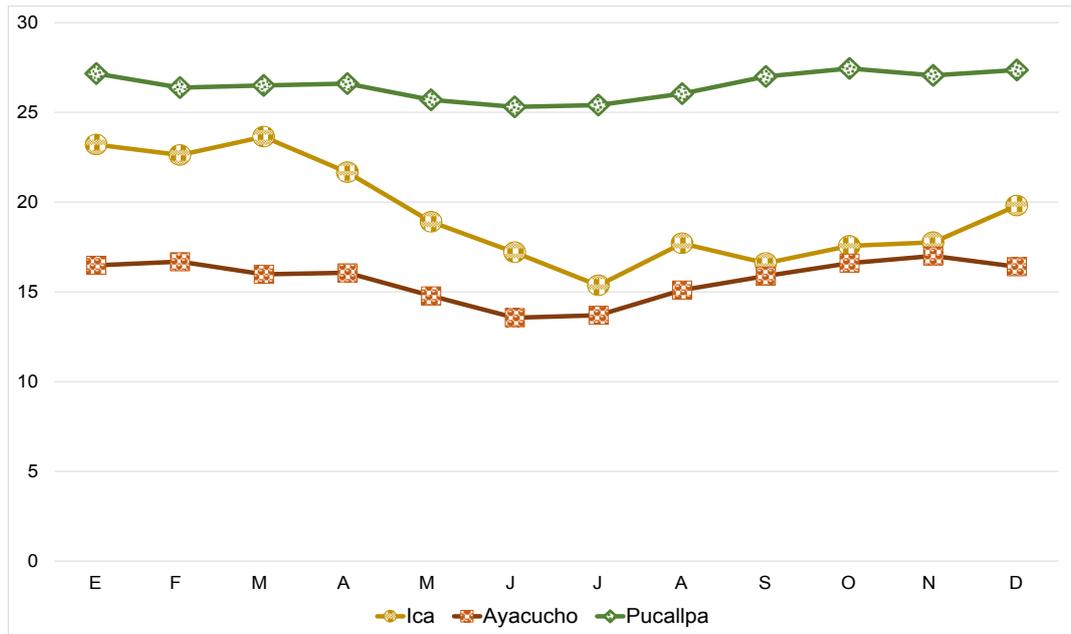


Figura 2.14 Temperatura promedio mensual en °C (elaboración propia con datos de estaciones meteorológicas Senamhi, valores promedio entre 2010 – 2015).

Pluviometría: existen diferencias notables para las ciudades estudiadas. En Ica no se presentan precipitaciones significativas. Valor anual medio de 8mm. En Ayacucho valor anual de 608 mm, como en toda la sierra, las precipitaciones se presentan con mayor frecuencia e intensidad desde noviembre a marzo. En Pucallpa es mucho más constante y de mayor caudal entre octubre y marzo, valor anual de 1866mm.

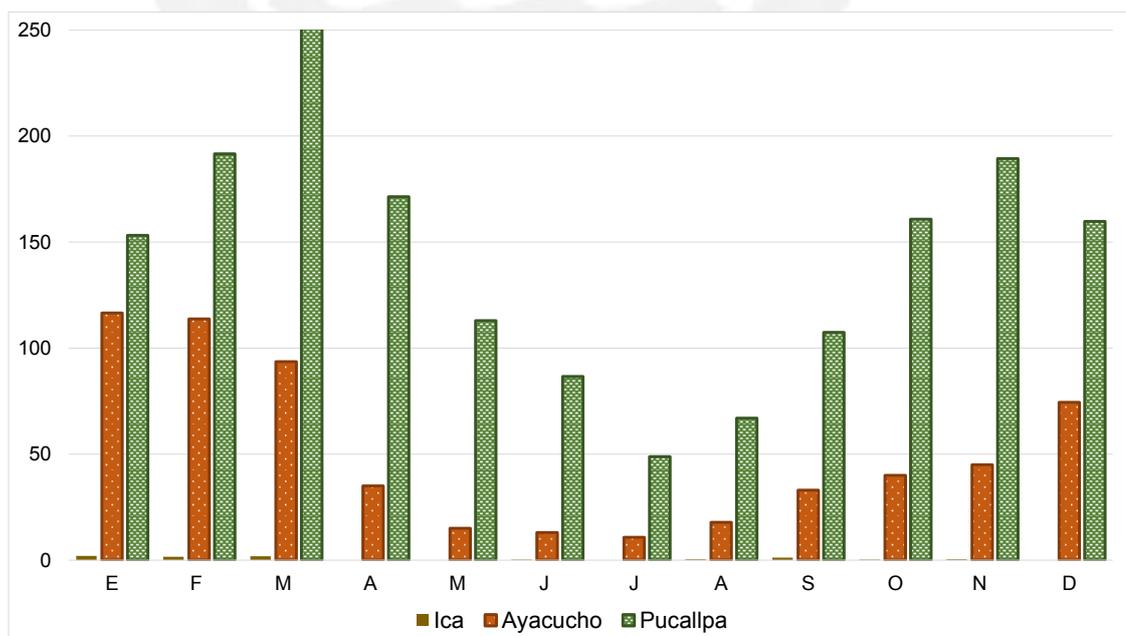


Figura 2.15 Precipitación mensual en mm (elaboración propia con datos de estaciones meteorológicas de Senamhi, valores promedio entre 2010 – 2015).

Existen respectivas necesidades en los vectores energía, agua y alimentación de cada ciudad. Por medio del análisis del potencial de sus recursos endógenos se define la tecnología y los elementos a implementar. Para la obtención de información se han realizado visitas de campo donde se produjeron reuniones con los principales involucrados. Las reuniones se dieron con: (i) empresa de distribución de energía eléctrica de la ciudad; (ii) empresa de saneamiento; (iii) responsables municipales de medio ambiente. Así también, se dieron reuniones con personal de Senamhi e INEI para la obtención de datos de las estaciones meteorológicas cercanas a las ciudades y el acceso a documentos con importantes datos estadísticos. Con este ciclo de reuniones se completó la información de caracterización en el ámbito ambiental y socio económico. Asimismo, se realizaron visitas a cubiertas con implementación fotovoltaica, huertos y sistemas de captación de agua de lluvia en Barcelona (febrero 2017).

2.5 Tecnologías y elementos de adaptación de cubiertas

La caracterización urbana indica tanto el requerimiento de la población como la oferta de recursos endógenos. Los componentes del nexo energía – agua y alimento necesitan de tecnología y/o elementos específicos que permiten adaptar un área para la captación de recursos.

2.5.1 Módulos solares fotovoltaicos

El potencial de energía solar incidente es favorable para utilizar módulos fotovoltaicos. Se ha seleccionado el panel solar 180w 24V monocristalino de alto rendimiento (15 – 18% de eficiencia) ideal para instalaciones aisladas. Este modelo es el más utilizado para edificaciones por su adaptabilidad (dimensiones: 1500 x 1000 x 35 mm, peso: 17 Kg).

2.5.2 Tanque de almacenamiento de agua de lluvia

El agua de precipitación puede suplir el consumo de agua no potable (35 %) parcial o totalmente. No precisa de tratamiento convencional. El tanque es de concreto armado puzonlánico (por impermeabilidad). Se dimensiona por el método de balance hídrico.

2.5.3 Huertos urbanos y cultivos potenciales

El subsistema techo descarta la selección de cultivos que son profundos o que su raíz se extiende. De experiencias anteriores las hortalizas es el grupo más favorable. Por tanto, se elige: (i) *01 cultivo* de mayor consumo: *tomate*, socialmente requerido por su accesibilidad y precio. Afianzar la seguridad alimentaria; (ii) *01 cultivo* de menor consumo: *lechuga*, importancia nutricional y aporte en variedad de la canasta promedio.

Existen productos que no son consumidos con suficiencia según el valor recomendado de la OMS o la FAO, por tanto se busca suplir, gradualmente, esta carencia. La mayoría de frutas provienen de árboles de raíz profunda; por tanto, no son viables a implementar en techos. La papa es uno de los productos más consumidos, no obstante se descarta su implementación en techos pues requeriría de mucho espacio en área y espesor de sustrato. Así como la papa, otros tubérculos y frutas pueden ser cultivados en jardines u otras áreas infrutilizadas.

2.6 Computación de área urbana y densidad demográfica residencial

En la Figura 2.16 se puede observar el modelo de cada ciudad realizado en ArcGis 10.3. Este programa reconoce la superficie de uso residencial/comercial y los transforma a polígonos. Como información de entrada se requiere los planos catastrales (IGN, 2015) del área urbana, los cuales fueron importados a la interfaz. Asimismo, en esta Figura se puede observar en un círculo rojo el polígono representativo seleccionado.



Figura 2.16 Modelo espacial urbano (elaboración propia con ArcGis 10.3 y planos catastrales)

La delimitación del polígono representativo se ha realizado bajo dos criterios principales. Por un lado, se identifica zonas predominantemente residenciales, y comerciales. Por otro lado, se observa distritos con nivel socioeconómico promedio. De esta forma, se seleccionaron los distritos de Ica, Ayacucho y Callería, respectivamente. La Figura 2.17 muestra los polígonos representativos con un área aproximada de 130 ha. En Ica, abarca las urbanizaciones Rinconada de Huacachina y Villas el Sol. En Ayacucho, la urbanización María Parado de Bellido. Por último, en Pucallpa, está limitado por las avenidas Yarinacochoa y Centenario. La selección de esta zona tiene como finalidad extrapolar los factores de corrección de área para la ciudad.



Figura 2.17 Polígonos representativos (elaboración propia con Google Earth).

2.7 Procedimiento para cuantificar el grado de autosuficiencia

(i) *Energía*. Los usos considerados son residencial, comercial y alumbrado público. El grado de autosuficiencia es el cociente entre el potencial fotovoltaico y el requerimiento. La unidad comparativa es kWh/m² mensual.

Por un lado, el requerimiento. El consumo eléctrico per cápita se obtiene de dividir la demanda eléctrica urbana (Electro Dunas, Electrocentro, Electro Ucayali, 2016) y la población (INEI, 2015). Estos datos fueron recopilados para los últimos seis años (entre 2010 y 2015). Posteriormente, se calcula la densidad demográfica residencial. Para ello, se usa la información poblacional (INEI, 2016) y se cuantifica el área urbana con ArcGis 10.3. Se multiplica el consumo eléctrico per cápita y la densidad demográfica residencial para obtener el valor de energía requerida por unidad de área. Para finalizar, se divide entre el factor de pérdida energética estándar 0.75 de un sistema fotovoltaico (Acciona Energía, comunicación personal, 2017 & Lorenzo, 2002).

Por otro lado, el potencial fotovoltaico. De acuerdo al rango de eficiencia del módulo seleccionado (15 – 18%) y el dato de temperatura (Senamhi, 2016) se realiza una linearización de eficiencias. El valor de 18% se consigue a 25 °C, de incrementarse o reducirse la temperatura, la eficiencia baja. Con este dato, en conjunto con la energía solar incidente mensual por metro cuadrado (Senamhi, 2016), se calcula la energía que puede producir los módulos. Para finalizar, se aplica una serie de factores de corrección por eficiencia y área que dependen de cada morfología urbana.

(ii) *Agua*. El consumo que se busca suplir es el porcentaje empleado para usos no potables. Análogamente, el grado de autosuficiencia es el cociente entre el potencial de escorrentía y el requerimiento, se compara a través de la unidad l/m² mensual. El procedimiento es similar, se obtiene el producto entre el consumo per cápita y la densidad demográfica residencial (previamente calculada); como resultado, se conoce el requerimiento total. Por último, a través del factor 0.35, se cuantifica la demanda de agua no potable por unidad de área. En paralelo, se estructura los datos de pluviometría (Senamhi, 2016), registrados en lámina de milímetros (mm), unidad equivalente a l/m². Finalmente, se aplica la corrección con el factor de escorrentía que varía según el material de cobertura de techos.

(iii) *Alimentos*. El análisis de los cultivos seleccionados tiene dos enfoques: suplencia de productos de alta demanda y de déficit. En ambos casos se hace un análisis descriptivo de ratios de producción mensual en kg/m² con base en experiencias previas. Esto es una aproximación, se necesitaría realizar un estudio experimental de estos cultivos en cada ciudad. No obstante, las características de humedad y temperatura permiten asociar rendimientos.

2.7.1 Factores de corrección

Según cada ciudad, se presentan diferentes características en los techos. La orientación, inclinación y perfil promedio son específicas. Para el vector energía, existen seis factores de corrección, cuatro por área: perfil, interferencia, orientación y sombra; y dos por eficiencia: limpieza e inclinación. Para el vector agua, el factor de escorrentía que depende del material de techo es el único. No existen factores para el vector alimentos.

El perfil determina la distribución de los módulos solares. De experiencia comercial, la eficiencia del sistema se reduce por falta de limpieza (Esperanza Cárdenas, Acciona Energía, comunicación personal, 2017) Asimismo, para el tercer factor, se resta el área ocupada por elementos de interferencia. Por otro lado, tradicionalmente, los módulos se ubicaban orientados al Sur o Norte dependiendo del hemisferio de ubicación. Sin embargo, recientes estudios sugieren que la orientación ideal es de Este – Oeste (Hartner et al., 2015; Singh et al., 2015) para lo cual se ha cuantificado el área de cubierta respectiva. La inclinación óptima del módulo depende de la latitud de la región, de forma conservadora se considera la máxima pérdida de eficiencia (Hartner et al., 2015). De igual manera, para el último factor, a través de un análisis de proyección de sombra, generalmente por edificaciones adyacentes, se ha excluido la superficie que no recibe luz. La Tabla 2.7 resume esta información.

Tabla 2.7 Factores de corrección para el vector energía.

Factor	Descripción	Forma de cálculo y fuente
Perfil de techo predominante: 0.60 - 0.72	Disposición de los módulos de 1.5m x 1.0m y cálculo del área permisible en 100m ² .	Elaboración conjunta con Acciona Energía.
Limpieza: 0.7	Pérdida de eficiencia del módulo. Entre 15% y 30%. Se usa el valor más conservador.	Experiencia comercial: Acciona Energía, Kyocera Solar.
Interferencia	Presencia de elementos como máquinas, muros, tuberías de ventilación, tanques de agua genera reducción del área.	Elaboración propia con ArcGis 10.3 y mapas de Google Earth
Orientación: 1.00 (plano) y variable (mixto o inclinado)	Techos que tienen orientación este - oeste (Singh et al., 2015) (Hartner et al., 2015).	Elaboración propia con ArcGis 10.3 y mapas de Google Earth
Inclinación: 1.00 (plano) y 0.80 (inclinado o mixto)	Valor óptimo entre 30° y 45° dependiendo de la latitud (Hartner et al., 2015). Se usa el valor conservador.	Latitud y longitud de Google Earth (Hartner et al., 2015).
Sombra	Área de cubierta que no está afectada por sombra (Hong et al., 2015).	Elaboración propia con ArcGis 10.3 y mapas de Google Earth.

(Elaboración propia)

Este procedimiento se ha aplicado a las tres ciudades de estudio, la metodología de cálculo es replicable a todo ambiente urbano. Los factores de corrección por área y eficiencia son específicos en cada caso y dependen de la morfología urbana. Las siguientes Figuras 2.18, 2.19 y 2.20 indican cómo es el perfil promedio de techo específico en cada caso, en ellas, se presentan tanto una fotografía como el modelo. Asimismo, las Tablas 2.8, 2.9 y 2.10 indican los factores respectivos calculados.

En Ica predominan techos planos. Como ventaja importante, los módulos se colocan en la orientación e inclinación óptima.

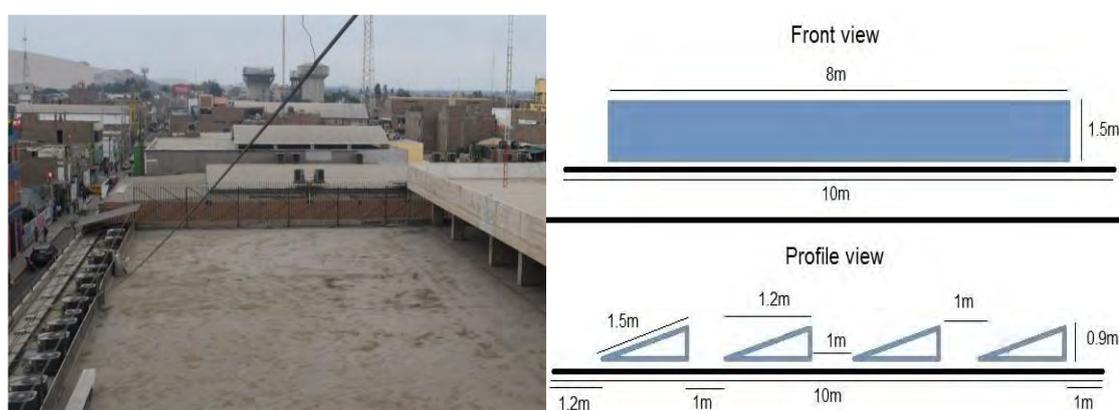


Figura 2.18 Perfil de techo promedio en Ica/ modelo de distribución (fotografía propia/ modelo de elaboración propia).

Tabla 2.8 Factores de corrección del vector energía para Ica.

Factor	Descripción
Perfil de techo predominante: 0.72	De 100m ² es posible utilizar 72m ² de módulos. Vista frontal: se colocan juntos y se deja una separación de 1m en cada límite. Vista perfil: se espacia 1m por sombra.
Limpieza: 0.70	Reducción de eficiencia cuando no se limpia regularmente.
Interferencia: 0.821	Presencia de máquinas, muros perimetrales, tanques de agua.
Inclinación: 1.00	No aplica para cubiertas planas.
Orientación: 1.00	No aplica para cubiertas planas.
Sombra: 0.643	Área de cubierta que no está afectada por sombra (Hong et al., 2015).

(Elaboración propia)

Ayacucho presenta techos mixtos: parte plana e inclinada. Los módulos solares se colocan en la orientación correcta en la parte plana. La inclinación promedio de la otra parte es 35° lo que resta poca eficiencia al módulo. Pucallpa se caracteriza por techos inclinados.

La inclinación promedio de es 40° (resta poca eficiencia al módulo). Las Figuras 2.19 y 2.20 muestran cómo son los techos en estas dos ciudades; adicionalmente, las Tablas 2.9 y 2.10 indican las características de los factores de corrección adoptados. Nótese que las ciudades la sierra tienen techos parcialmente inclinados y parcialmente planos.

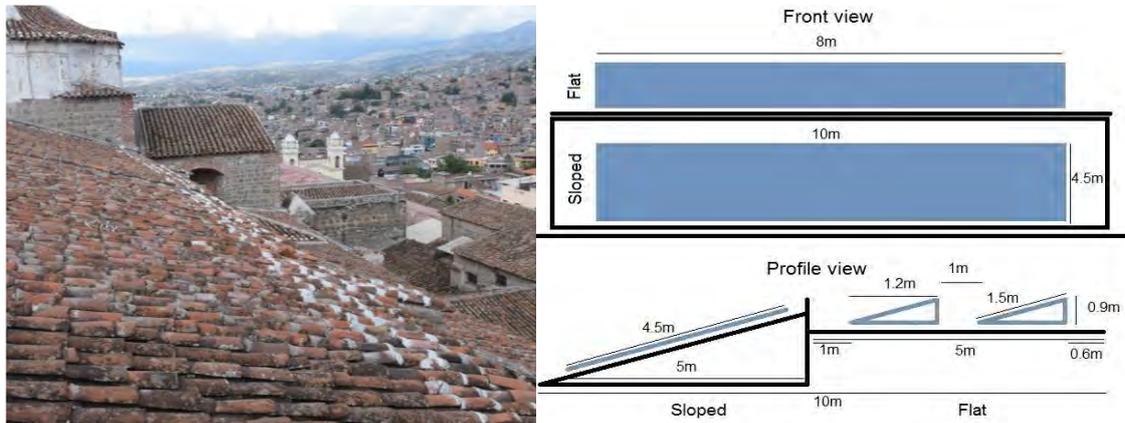


Figura 2.19 Perfil de techo promedio en Ayacucho/ modelo de distribución (fotografía propia/ modelo de elaboración propia).

Las ciudades de la selva presentan techos completamente inclinados. Por un lado, esta forma se debe a las fuertes precipitaciones que se presentan a lo largo del año; por otro lado, esta forma imposibilita la implementación de huertos urbanos en la cubierta; en consecuencia, otros subsistemas urbanos podrían ser analizados para este fin.

Tabla 2.9 Factores de corrección del vector energía para Ayacucho.

Factor	Descripción
Perfil de techo predominante: 0.60	De 100m ² es posible utilizar 60m ² de módulos. Vista frontal: se colocan juntos y se deja una separación de 1m en cada límite. Vista perfil: parte plana se espacia 1m por sombra, parte inclinada se colocan juntos.
Limpieza: 0.70	Reducción de eficiencia cuando no se limpia regularmente.
Interferencia: 0.769	Presencia de máquinas, muros perimetrales, tanques de agua.
Orientación 0.584	Techos que tienen orientación este - oeste (Singh et al., 2015) (Hartner et al., 2015).
Inclinación: 0.80	Valor óptimo entre 30° y 45° dependiendo de la latitud (Hartner et al., 2015). Se usa el valor conservador.
Sombra: 0.576	Área de cubierta que no está afectada por sombra (Hong et al., 2015).

(Elaboración propia)

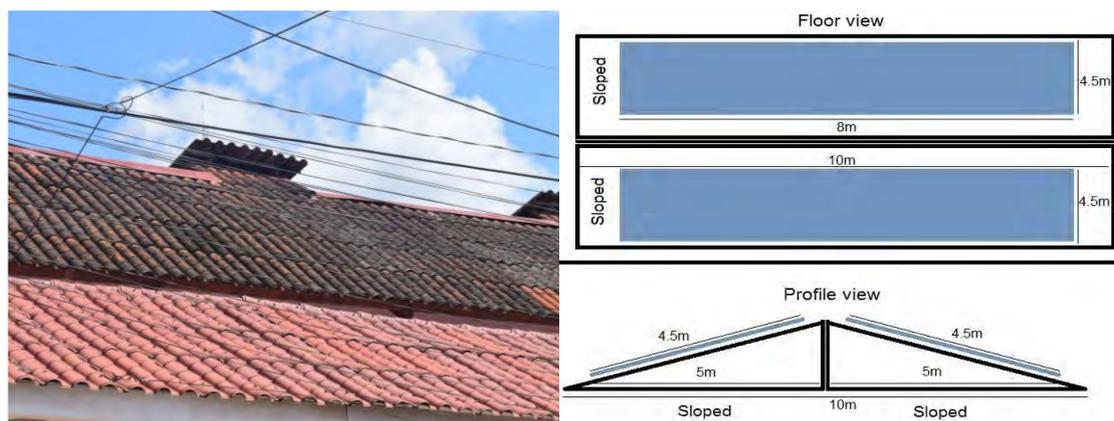


Figura 2.20 Perfil de techo promedio en Pucallpa/ modelo de distribución (fotografía propia/ modelo de elaboración propia).

Tabla 2.10 Factores de corrección del vector energía para Pucallpa.

Factor	Descripción
Perfil de techo predominante: 0.72	De 100m ² es posible utilizar 72m ² de módulos. Vista planta: para ambas partes inclinadas se colocan juntos y se deja una separación de 1m a cada lado.
Limpieza: 0.70	Reducción de eficiencia cuando no se limpia regularmente.
Interferencia: 0.838	Interferencias: presencia en la cubierta de tuberías de ventilación, tanques de agua.
Orientación: 0.416	Techos que tienen orientación este - oeste (Singh et al., 2015) (Hartner et al., 2015).
Inclinación: 0.80	Valor óptimo entre 30° y 45° dependiendo de la latitud (Hartner et al., 2015). Se usa el valor conservador.
Sombra: 0.717	Área de cubierta que no está afectada por sombra (Hong et al., 2015).

(Elaboración propia)

Parte de la precipitación pluviométrica no se contabiliza para abastecer la demanda. En el análisis de autosuficiencia hídrica se calcula la escorrentía, la cual representa el potencial de oferta real o aprovechable. La Tabla 2.11 indica los factores de corrección por escorrentía para diferentes materiales de cobertura de techo, nótese que se utiliza el tipo de acabado predominante de los techos; actualmente, para el caso de las ciudades de la sierra y la selva, se plantea utilizar cubiertas producidas a base material plástico. La Figura 2.21 indica el flujograma para cuantificar la autosuficiencia energética.

Tabla 2.11 Factores de escorrentía del vector agua.

	Ica	Ayacucho	Pucallpa
Material de techo	Cemento	Teja de arcilla/ cemento	Madera
Factor de escorrentía	0.90	0.80	0.80

(Elaboración propia con datos de OMS, 2004)

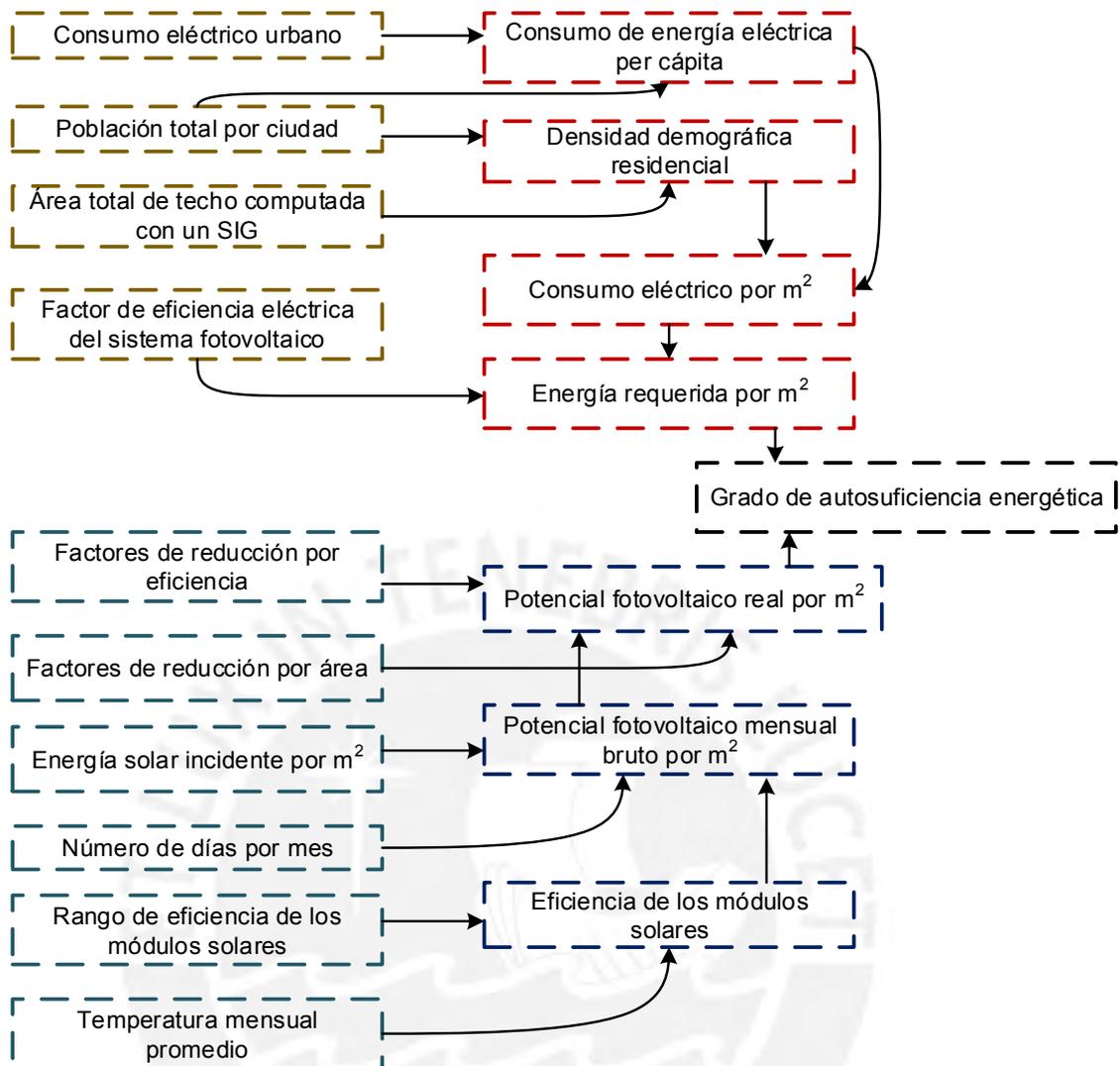


Figura 2.21 Metodología para la obtención de la autosuficiencia energética (elaboración propia).

2.8 Procedimiento para calcular la reducción de GEI

El grado de reducción de emisiones de GEI, para el *vector energía*, es el cociente entre las emisiones por el mix eléctrico actual y las correspondientes al sistema fotovoltaico. La unidad comparativa es $\text{gCO}_2\text{eq/m}^2$ mensual (también para agua y alimentos). Por un lado, las emisiones del actual mix eléctrico; se estructura el inventario regional de acuerdo a los tipos de fuentes, y sus porcentajes de contribución, que constituyen el mix (MINEM, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015). Posteriormente, se calcula el potencial de calentamiento global con el método IPCC 2013. Por último, se multiplica por el consumo por unidad de área, calculado anteriormente, para obtener las emisiones de carbono equivalente por metro cuadrado.

Por otro lado, para cuantificar las emisiones del sistema fotovoltaico, el procedimiento es bastante similar. Se estructura el inventario correspondiente al módulo solar (Ecoinvent, 2017). Luego, se calcula el impacto ambiental en términos del potencial de calentamiento global también con el método de análisis IPCC 2013. Después, con el dato de consumo por unidad de área se obtiene un producto, el cual resulta en las emisiones de carbono equivalente por metro cuadrado. Resta calcular el impacto ambiental de las baterías; de acuerdo a la curva de carga (Osinermin, 2017) (Figura 2.6), se requiere almacenar el 49% del requerimiento diario. Las baterías seleccionadas son aquellas de ion de litio, las cuales tienen un impacto de 97.2 kgCO₂eq/kWh de capacidad (McManus, 2012). Adicionalmente, de acuerdo a la capacidad diaria requerida (kWh/m²) y considerando que se realiza un ciclo de carga/descarga una vez al día, se calcula el impacto ambiental de los sistemas de almacenamiento, los cuales tienen una vida útil de 4500 ciclos (alrededor de 10 años) y una eficiencia promedio de 90% (Hernández Romero, 2016); la información adoptada para estos sistemas es conservadora. La Figura 2.22, que es análoga a la Figura 2.21, presenta el diagrama de flujo de los procesos que conducen a la obtención del grado de reducción de emisiones de GEI; asimismo, resume los pasos descritos anteriormente.

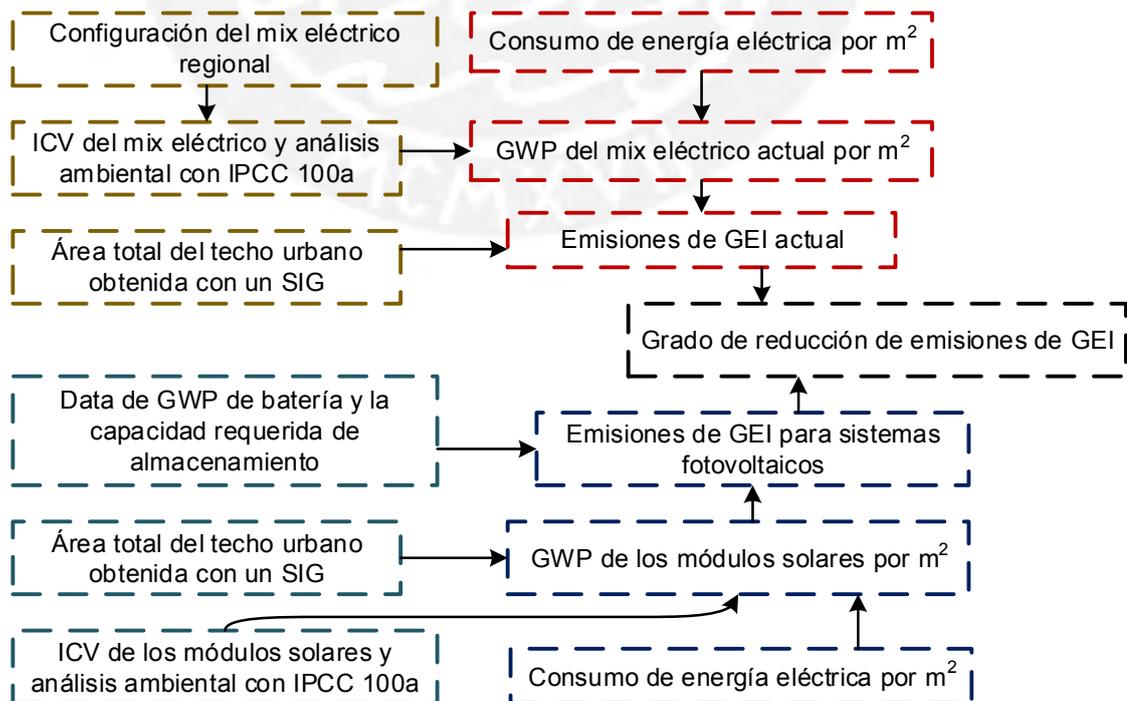


Figura 2.22 Metodología para calcular la reducción de GEI (elaboración propia).

A través del balance hídrico, para el *vector agua*, se determina las dimensiones requeridas en el tanque de almacenamiento. Con los datos de esorrentía potencial y la demanda en m^3 , se realiza sucesivas iteraciones para calcular el volumen óptimo que no permita déficit en ninguno de los meses; como se describió anteriormente, existe una interconexión entre los sistemas dinámicos que componen este sistema, el programa Plugrisost, a través de su interfaz, y mediante la resolución de ecuaciones diferenciales, cuantifica este volumen óptimo. Posteriormente, se evalúa el impacto ambiental de la cantidad de concreto puzolánico requerido a través de su ICV. Por otro lado, se calcula también el GWP de la producción de agua potable en una planta de tratamiento convencional. La comparativa es entre la situación actual y el escenario donde el 35% de la demanda es abastecida por el potencial de lluvia, el 65% restante mantiene el contexto actual, donde el suministro se sustenta en la fuente convencional de agua de red.

El impacto ambiental, en el *vector alimentos*, se obtiene sobre la base del inventario de subproductos que son requeridos por la lechuga y el tomate. El modelo del sistema considera el tipo de sustrato, suministro de agua, nutrientes requeridos. En Ica existen efluentes de la actividad agrícola que podrían cubrir el requerimiento hídrico y nutricional del tomate y la espinaca. Una vez cuantificadas las emisiones de GEI para huertos urbanos, y con el rendimiento esperado de experiencias anteriores, se compara con la huella de carbono actual que presenta la producción típica de estos cultivos.

Reiterativamente, se enfatiza que la unidad comparativa para los tres vectores analizados es gCO_2eq/m^2 mensual. Esta unidad permite hacer la comparación con precisión y donde se consideran tanto el potencial de cambio climático de los sistemas a implementar así como el área donde serán aplicados.

2.8.1 Inventario de ciclo de vida

Estructurado sobre la base de las entradas a cada sistema. La Tabla 2.12 indica las consideraciones de cada conjunto de datos. La base de datos es Ecoinvent 3. Los conjuntos de datos son para los tres vectores, nótese que la información ha sido estructurada para que el resultado conduzca a la unidad comparativa uniformizada para los tres componentes del nexo.

Tabla 2.12 Consideraciones del inventario de ciclo de vida.

Conjunto de datos	Procedimiento de cálculo
Electricity high voltage, regional production mix (Ica)	La producción regional de electricidad en Ica es adaptada sobre la base de los mapas de potencia instalada y energía producida (según tipo de fuente) reportados por el Ministerio de Energía (2010 - 2015).
Electricity high voltage, regional production mix (Ayacucho)	La producción regional de electricidad en Ayacucho es adaptada sobre la base de los mapas de potencia instalada y energía producida (según tipo de fuente) reportados por el Ministerio de Energía (2010 - 2015).
Electricity high voltage, regional production mix (Pucallpa)	La producción regional de electricidad en Ucayali es adaptada sobre la base de los mapas de potencia instalada y energía producida (según tipo de fuente) reportados por el Ministerio de Energía (2010 - 2015).
Photovoltaic 3kWp, single - Si, panel, integrated on roof	Típicos módulos solares comerciales que se adaptan al sistema urbano. Se integran a zonas infrautilizadas, especialmente en techos/ cubiertas de edificaciones.
Tap water (ROW), tap water production, conventional treatment	Producción de agua de grifo o agua potable con tratamiento convencional. Las plantas de agua en Perú tienen la tecnología promedio que se utiliza en el mundo.
Concreto 210 kg/cm ² , Arequipa, Juliaca, UNACEM, puzolánico	Producción de concreto puzolánico (para impermeabilización) en regiones andinas del Perú, específicamente en Arequipa y Juliaca. Se adapta esta producción para Ayacucho.
Concreto 210 kg/cm ² , Pucallpa, UNACEM, puzolánico	Producción de concreto puzolánico (para impermeabilización) en Pucallpa. Se aplica esta producción particular.
Tomato/ Lettuce RTG annual production per kg cradle to farm gate	Producción de los cultivos seleccionados en huertos urbanos sin invernadero, considera la infraestructura requerida, equipamiento, energía, fertilizantes y agua.

(Elaboración propia)

2.8.2 Método de análisis IPCC 2013 100a

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) elabora y actualiza la metodología de cálculo del potencial de calentamiento global en términos de emisión de carbono equivalente, el procedimiento se enmarca en el ciclo de vida de un producto o proceso. Por tanto, sigue los principios del ACV. El método considera que cada sub proceso es una entrada del procedimiento de análisis. De esta forma, el valor cuantificado es preciso y consistente.

Capítulo III: Resultados

Los resultados de autosuficiencia para los componentes del nexo urbano de energía – agua y alimentos son positivos. De acuerdo al análisis realizado, el potencial para suplir la demanda de los sistemas implementados es alto. En consecuencia, se reduce la vulnerabilidad que tienen los sistemas centralizados actuales. Lo último es de principal interés como estrategia de reducción de riesgo de desastres (naturales y los sociales que se derivan). Cada unidad de edificación puede ser modelada como un nodo que brinda redundancia al sistema descentralizado. Por tanto, se afianza la continuidad en abastecimiento de servicios y productos básicos.

3.1 Energía

El área computada con ArcGis 10.3 permite conocer la superficie correspondiente a techos de zonas residenciales/ comerciales. Particularmente, a partir del análisis del polígono representativo se obtiene el valor de tres factores de corrección por área: interferencia, orientación y sombra, según la metodología descrita. Por tanto, se ha excluido áreas ocupadas por otros elementos, techos con orientación Norte – Sur, y superficie con proyección de sombra. La Tabla 3.1 indica los valores luego del cómputo de áreas que han conducido a la obtención de los factores de corrección respectivos. En cuanto a sombra, y particularmente para Ayacucho, la topografía de montañas circundantes no proyecta sombra en las edificaciones (valle interandino). No obstante, y aunque con baja probabilidad, podría ser de consideración en otras ciudades.

Los valores de estos factores, junto con el presentado previamente respecto del perfil de techo, conforman la corrección por área, la cual se extrapola a la ciudad entera. Luego, a partir de la superficie total de techo y con la aplicación sucesiva e integrada de las correcciones se obtiene el área efectiva ocupada por los sistemas fotovoltaicos. Posteriormente, en la Tabla 3.2 se visualiza los valores parciales de área urbana que van siendo calculados, nótese que esta tabla también indica las diferencias identificadas respecto de la superficie urbana total de cada ciudad.

Tabla 3.1 Factores de corrección por área en energía.

	Unidad	Área efectiva en polígono seleccionado		
		Ica	Ayacucho	Pucallpa
Área de techo inicial	ha	6.47	17.64	16.13
Después de interferencia	ha	5.31	13.57	13.52
Después de orientación	ha	5.31	7.92	5.62
Después de sombra	ha	3.42	4.56	4.03
	Unidad	Factores de corrección del polígono representativo		
		Ica	Ayacucho	Pucallpa
Interferencia	-	0.821	0.769	0.838
Orientación	-	1.000	0.584	0.416
Sombra	-	0.643	0.576	0.717

(Elaboración propia)

El cómputo de área efectiva es un resultado parcial que es utilizado para determinar la superficie potencial fotovoltaica. Asimismo, permite conocer la cantidad de energía eléctrica que puede ser generada a nivel de ciudad.

Tabla 3.2 Superficie efectiva fotovoltaica urbana.

	Factores de corrección por área			Unidad	Área efectiva en la ciudad		
	Ica	Ayacucho	Pucallpa		Ica	Ayacucho	Pucallpa
Área total de la ciudad				km ²	7.532	5.855	38.694
Perfil de techo/ cubierta	0.720	0.600	0.720	km ²	5.423	3.513	27.859
Interferencias	0.821	0.769	0.838	km ²	4.453	2.701	23.346
Orientación	1.000	0.584	0.416	km ²	4.453	1.578	9.712
Sombra	0.643	0.576	0.717	km ²	2.863	0.909	6.964
Factor de corrección integrado por área	0.380	0.155	0.180				
Área potencial				km ²	2.863	0.909	6.964

(Elaboración propia)

Se observa que el factor integrado para Ica (0.38) es significativamente superior a los calculados para Ayacucho (0.155) y Pucallpa (0.18). La variación de este valor se debe, principalmente, a que los techos en las ciudades costeras son planos y permiten orientación óptima, circunstancia que no es similar para las ciudades andinas y amazónicas, y que; por tanto, es una ventaja en aprovechamiento de energía solar fotovoltaica.

Posteriormente, se aplican los factores de corrección por eficiencia: inclinación y limpieza. Para el caso de Ica, al ser planos los techos, los módulos solares pueden colocarse con el ángulo óptimo (que varía con latitud) y por tanto el factor correspondiente es uno. La Tabla 3.3 indica el valor integrado de corrección por eficiencia. Asimismo, indica el cómputo de la producción potencial eléctrica de sistemas fotovoltaicos por unidad funcional (m²), para la ciudad completa y una comparativa con lo requerido.

Tabla 3.3 Factores de corrección por eficiencia y potencial FV.

	Factores de corrección por eficiencia			Unidad	Potencial FV y requerimiento		
	Ica	Ayacucho	Pucallpa		Ica	Ayacucho	Pucallpa
Limpieza	0.7	0.7	0.7				
Inclinación	1.0	0.8	0.8				
Factor de corrección integrado por eficiencia	0.7	0.560	0.560				
EFV anual (módulos)				kWh/m ²	330.3	289.58	298.85
EFV anual (potencial real)				kWh/m ²	87.8	25.17	30.12
Energía producida total anual				GWh	662.0	147.36	1165.40
Energía requerida total anual				GWh	209.2	48.56	136.83

(Elaboración propia)

Los resultados indican que, para los casos estudiados, se presenta excedencia del potencial sobre la demanda actual. La distribución del grado de autosuficiencia durante un año se grafica en las Figuras 3.1, 3.2 y 3.3 para Ica, Ayacucho y Pucallpa, respectivamente.

Para (i) *Ica*, se puede observar, que el potencial de producción anual es tres veces lo requerido. De acuerdo a la caracterización realizada, el requerimiento per cápita es mayor en ciudades de la costa, también lo es la oferta de irradiación. En (ii) *Ayacucho*, se observa grados de autosuficiencia inclusive mayores que en el caso previo. No obstante, la demanda per cápita es mucho menor y también lo es el potencial. La orografía de la ciudad presenta pendientes e irregularidad de altura en sus edificaciones. Por ello, la corrección por sombra es mayor. Para (iii) *Pucallpa*, la excedencia se mantiene pero es menor que los casos anteriores. Sin embargo, la producción total anual es 1165.40 GWh que, comparado con Ayacucho (147.36 GWh) e Ica (662.0 GWh), es mayor debido a que existe mayor superficie infrutilizada por ser una ciudad difusa y no compacta (las viviendas no suelen exceder los dos niveles), lo cual sería una ventaja para incrementar la densidad.

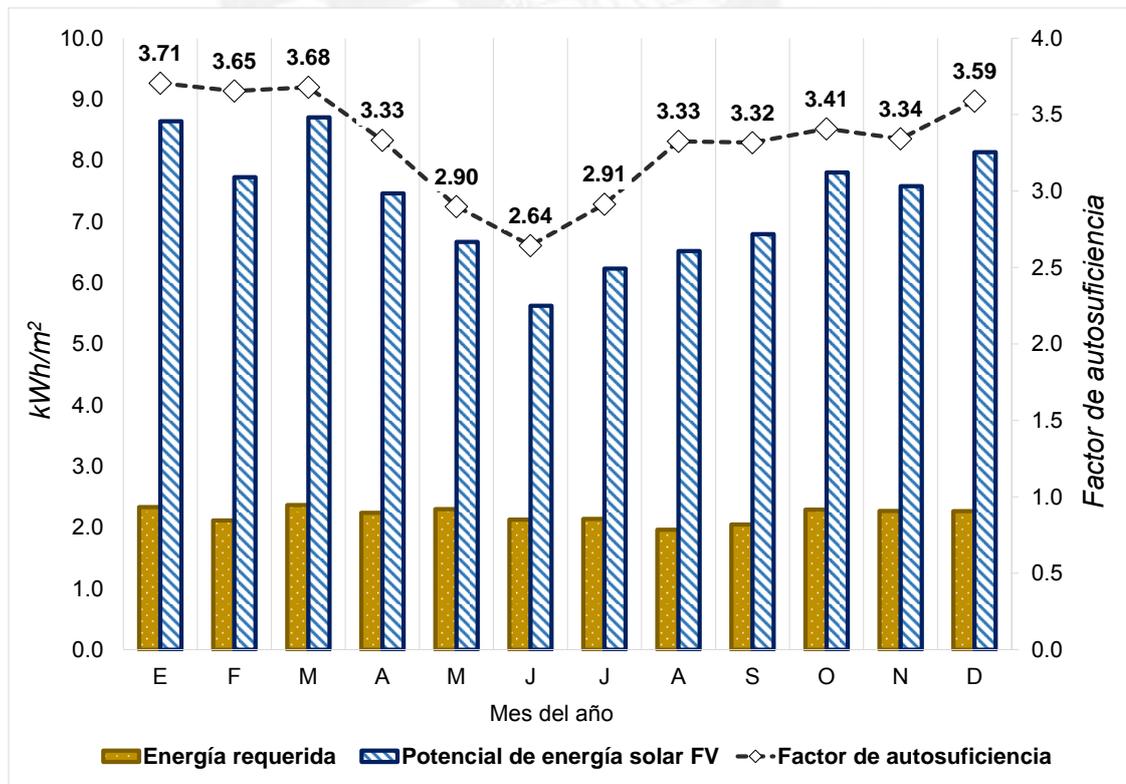


Figura 3.1 Autosuficiencia energética en Ica (elaboración propia).

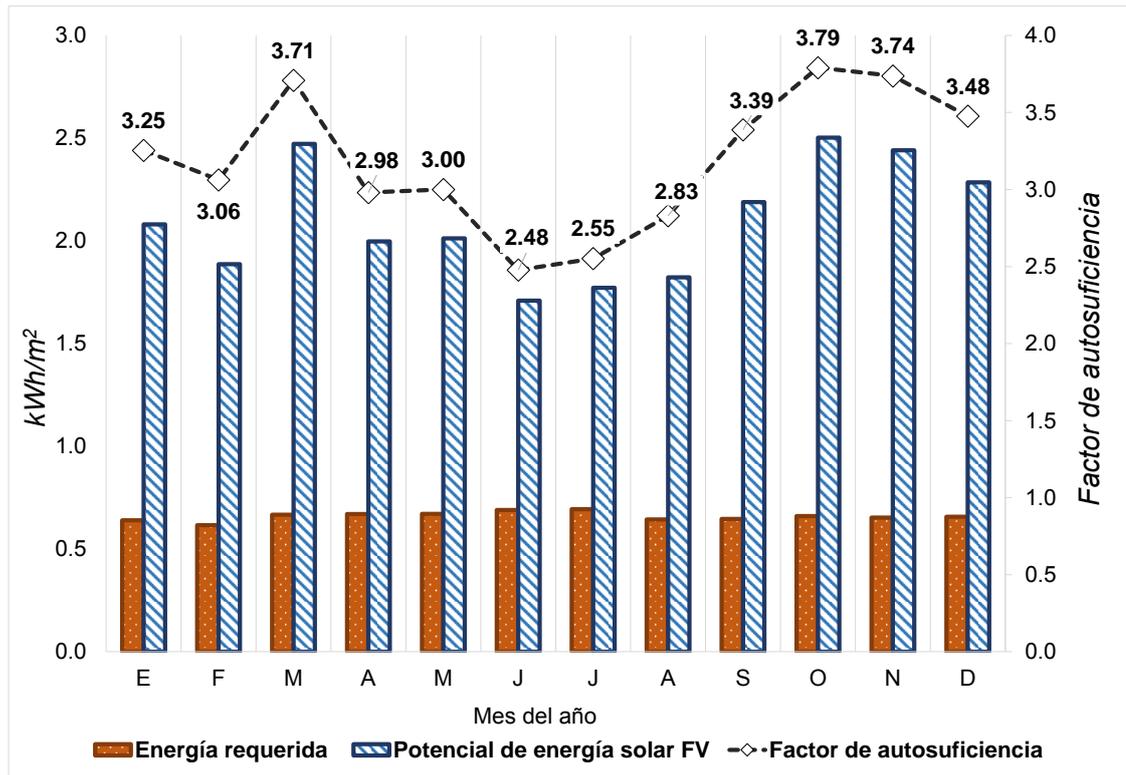


Figura 3.2 Autosuficiencia energética en Ayacucho (elaboración propia).

Para las ciudades de las tres regiones naturales (Figuras 3.1, 3.2 y 3.3) la demanda es superada por la oferta de energía solar.

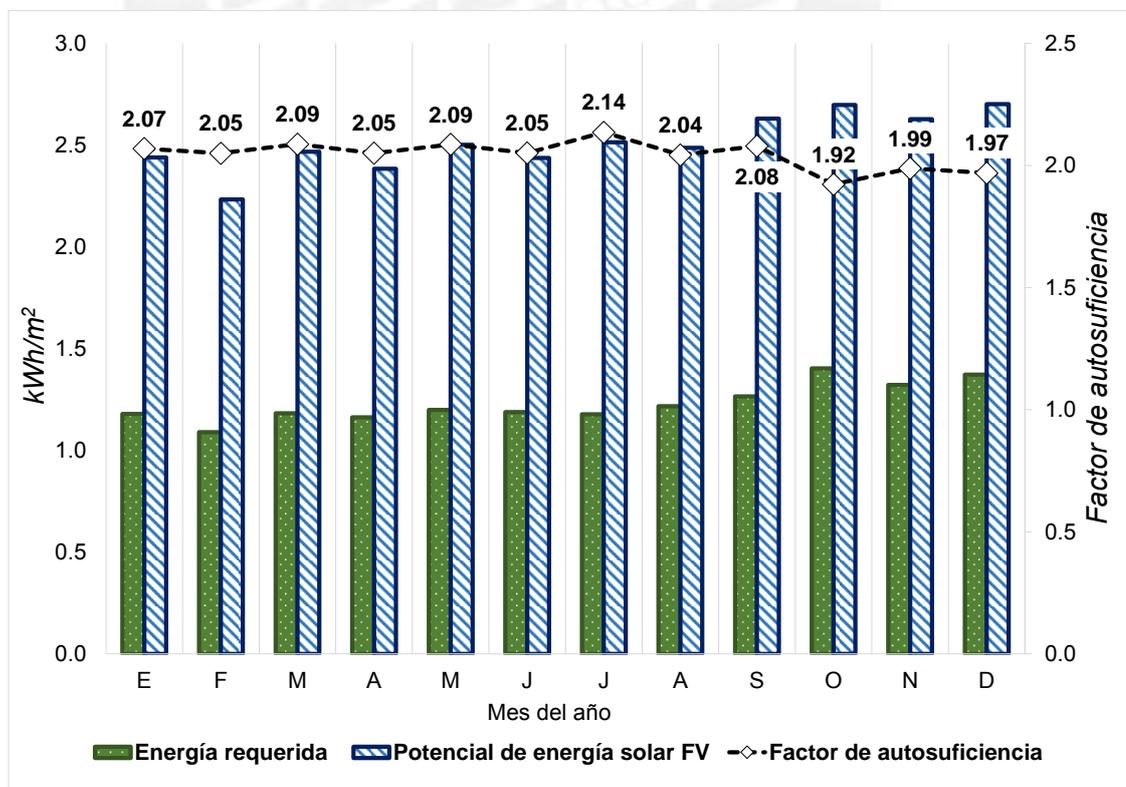


Figura 3.3 Autosuficiencia energética en Pucallpa (elaboración propia).

Por otro lado, las emisiones de GEI se ven considerablemente reducidas. Como se indicó anteriormente, esta reducción varía según el mix eléctrico regional con el que es comparado, el cual es particular para cada ciudad de estudio. Las Figuras 3.4, 3.5 y 3.6 indican los resultados en términos de impacto ambiental obtenidos. De esta manera, en (i) Ica se observa reducción de 73% en promedio. En (ii) Ayacucho, la reducción es mínima, valores entre 2 a 6% de reducción se registran durante el año. Particularmente, para las ciudades de la sierra, todavía la presencia de hidroeléctricas proporciona un impacto negativo no intensivo, en términos de GWP. Para (iii) Pucallpa, la situación es crítica, se puede observar que la reducción promedio asciende a 89%, el cual es un valor considerable de relevancia ambiental. Las ciudades de la selva no tienen conectada su fuente de producción eléctrica a la red nacional, por tanto, se encuentran aisladas; y, sumadas a esto, se presenta extracción intensiva de petróleo, generalmente, de manera informal.

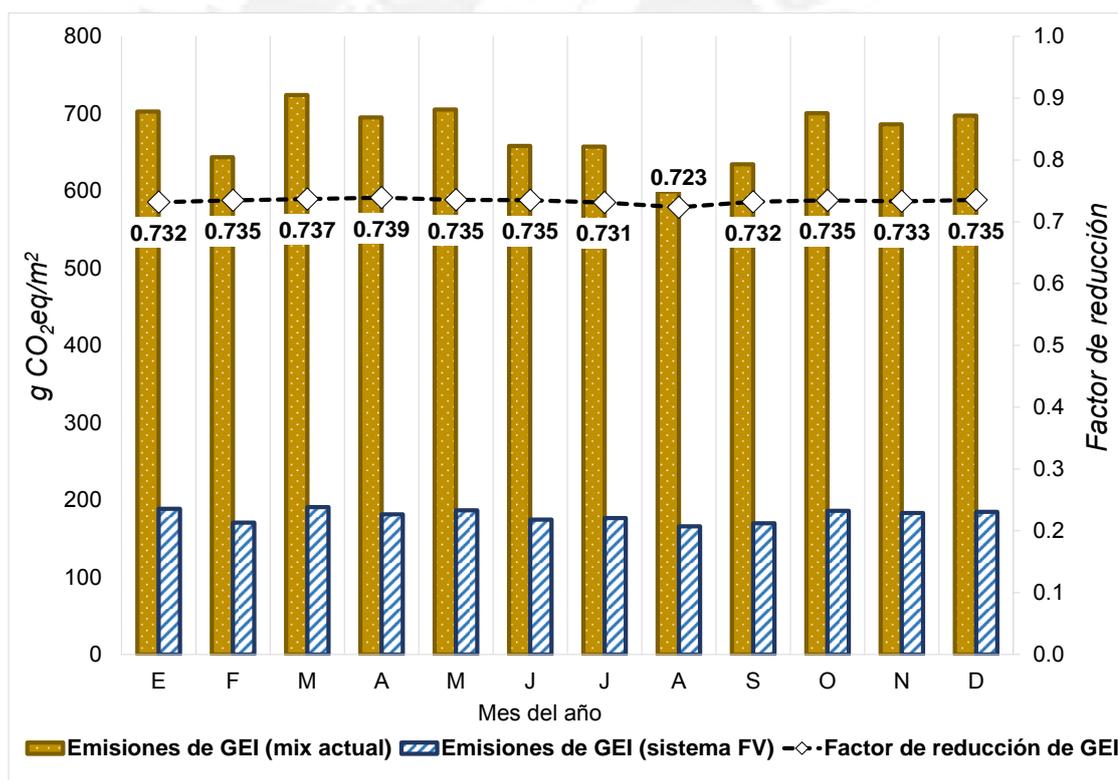


Figura 3.4 Reducción de emisión de GEI en Ica (elaboración propia).

En las ciudades de las tres regiones naturales (Figuras 3.4, 3.5 y 3.6) se presenta el beneficio ambiental de contribución directa a los objetivos que tiene Perú en términos de reducción del potencial de calentamiento global.

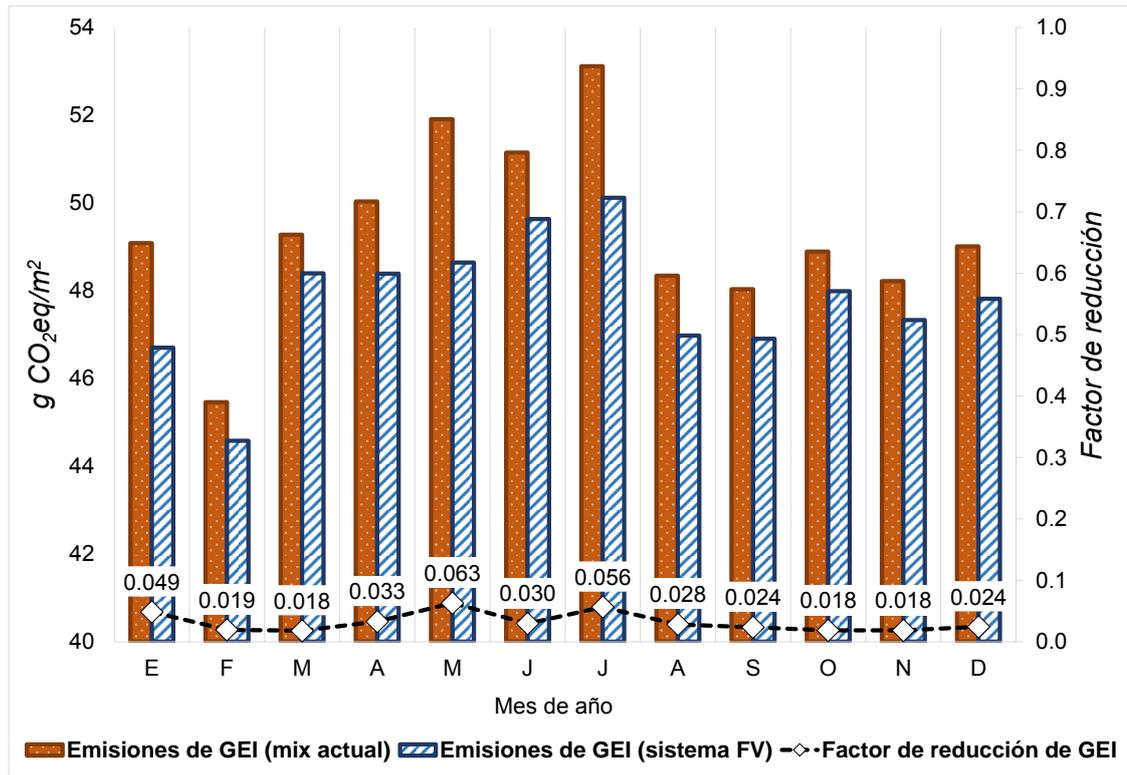


Figura 3.5 Reducción de emisión de GEI en Ayacucho (elaboración propia).

La reducción de emisiones de GEI varía según el mix eléctrico regional.

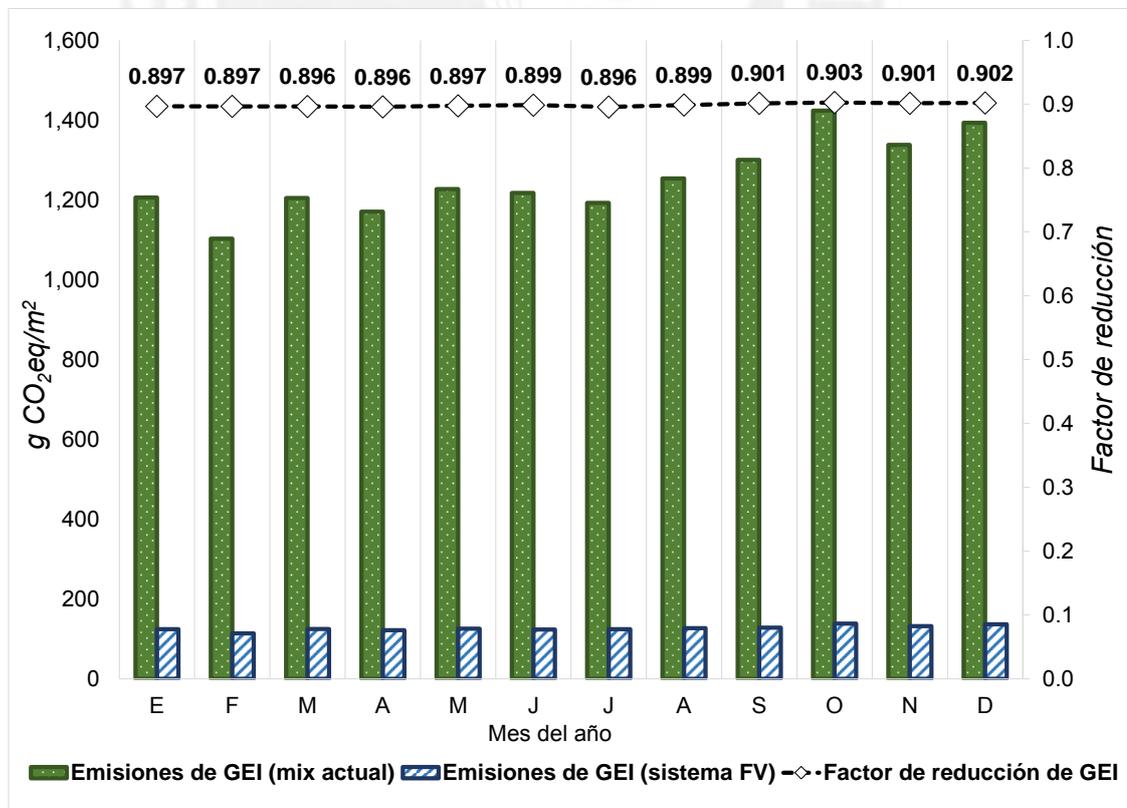


Figura 3.6 Reducción de emisión de GEI en Pucallpa (elaboración propia).

3.2 Agua

Las Figuras 3.7 y 3.8 muestran los resultados de autosuficiencia hídrica para las ciudades de la sierra y selva, respectivamente. En (i) *Ica*, como se señaló anteriormente, la precipitación no es constante, sobretodo es inapreciable por lo que no representa un aporte significativo para entrar en el análisis. En (ii) *Ayacucho*, el factor de autosuficiencia es bastante variable debido al periodo de avenidas y sequías que se presentan anualmente. En (iii) *Pucallpa*, así como en las demás ciudades de la selva las lluvias son constantes e intensiva durante todos los meses. El grado de autosuficiencia es siempre mayor a 1 y superado en varias veces.

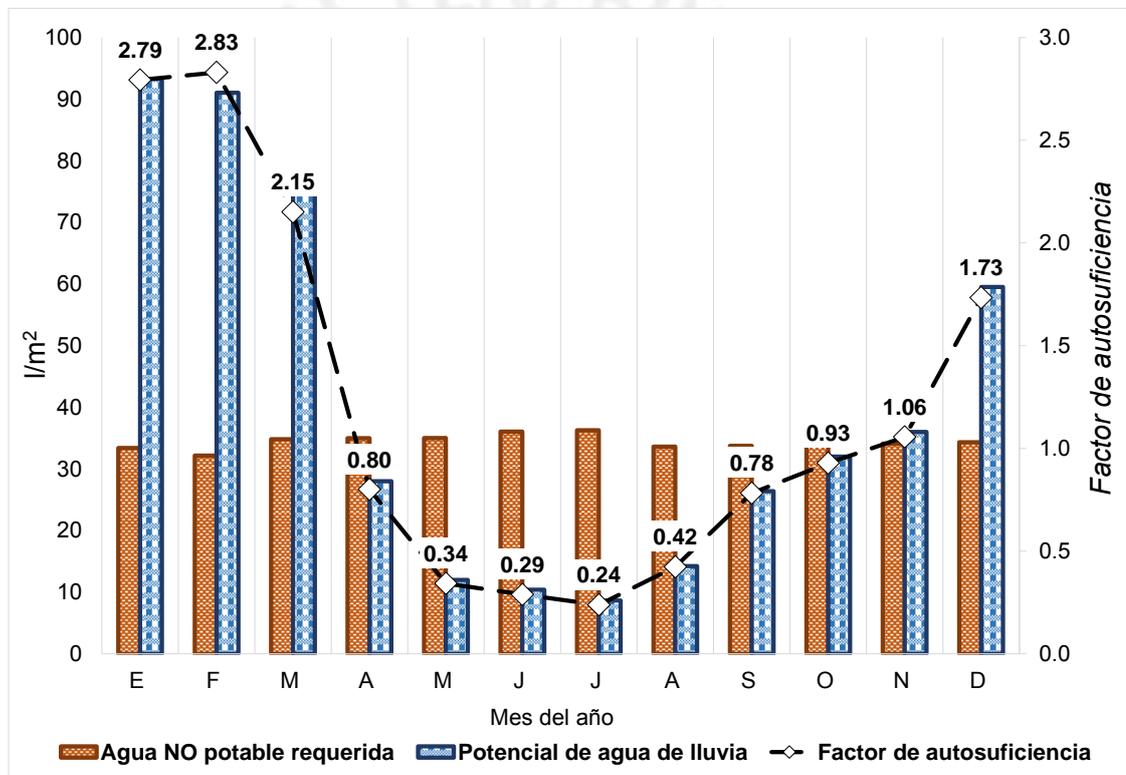


Figura 3.7 Autosuficiencia hídrica en Ayacucho (elaboración propia).

Para el cómputo de estos resultados se utilizaron los factores de escorrentía señalados en la Tabla 2.11: teja de arcilla (0.80) y madera (0.80), los cuales se obtuvieron como parte del estudio realizado por la Organización Mundial de la Salud (2004) para la captación de agua de lluvia en ambientes urbanos peruanos. Otros estudios (Depetri et. al., 2016) cuantifican este factor entre 0.90 a 0.95, de donde se presenta una variación de, aproximadamente, 15%; por tanto, es menos preciso y menos conservador.

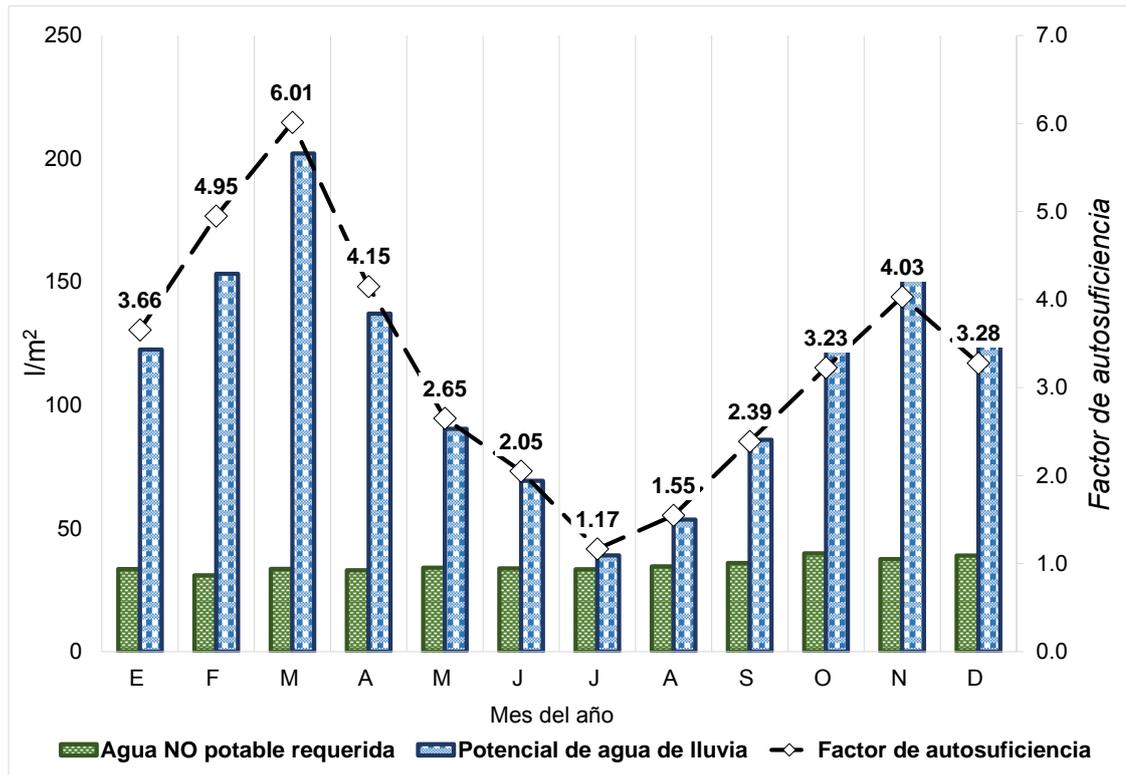


Figura 3.8 Autosuficiencia hídrica en Pucallpa (elaboración propia).

En cuanto al análisis de impacto ambiental. Es importante observar que la variación en emisiones de GEI se realiza a través del balance hídrico para dimensionado del embalse de concreto impermeable. Por tanto, las Figuras 3.9 y 3.10 indican que en términos de cambio climático, no sería adecuada la implementación de estos sistemas, el concreto para estos tanques tiene una vida útil de 50 años. La producción de agua potable por tratamiento convencional representa un menor impacto ambiental negativo. En Pucallpa, sin embargo, es mayor, esto es sobre la base del mix eléctrico regional que también es utilizado por las instalaciones de la planta de tratamiento.

El impacto ambiental de potencial de calentamiento global es desfavorable. Por tanto, se ha analizado otro impacto ambiental: huella hídrica, la cual presenta un método basado en Análisis de Ciclo de Vida (ACV) definido por la Norma Internacional ISO 14044. El método AWARE, no obstante, no puede ser empleado para el comparativo de huella hídrica; esta metodología exige que el agua analizada no sea considerada *verde* (la precipitación sí lo es); adicionalmente, las sub cuencas de donde provienen las fuentes tradicionales de agua deben ser diferentes a aquella donde cae la lluvia analizada.

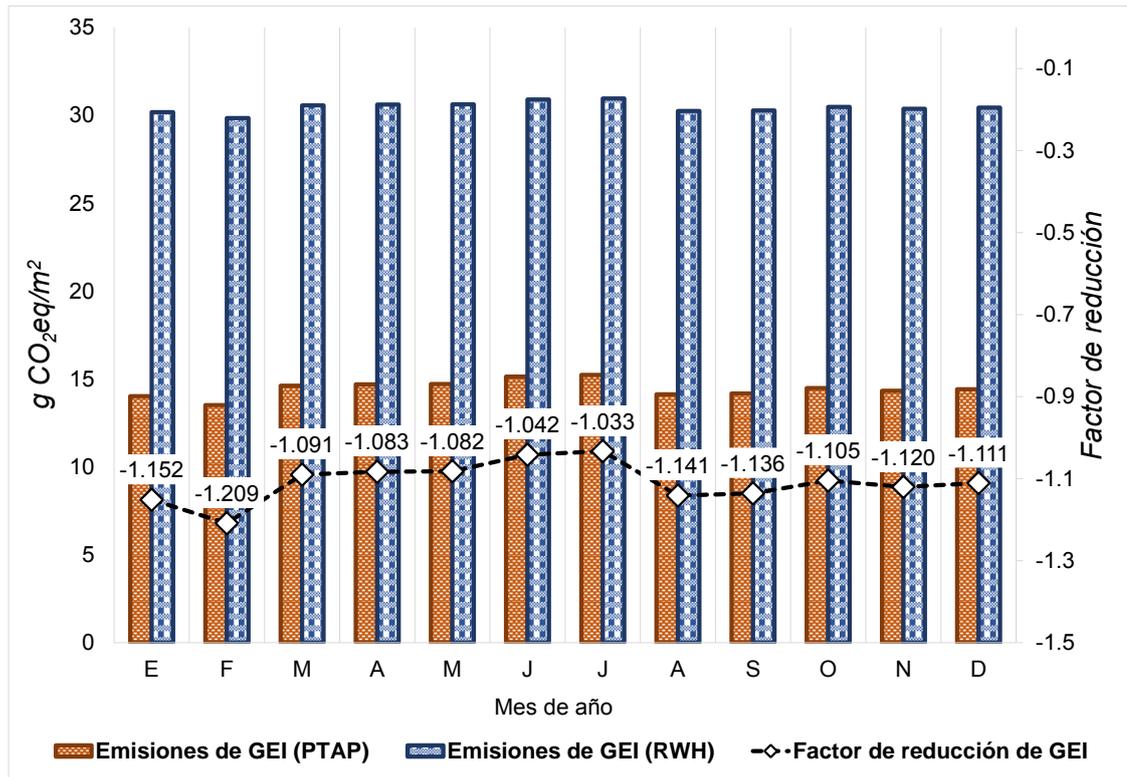


Figura 3.9 Variación de emisiones de GEI en Ayacucho (elaboración propia).

La tecnología de captación de agua de lluvia, todavía es limitada.,

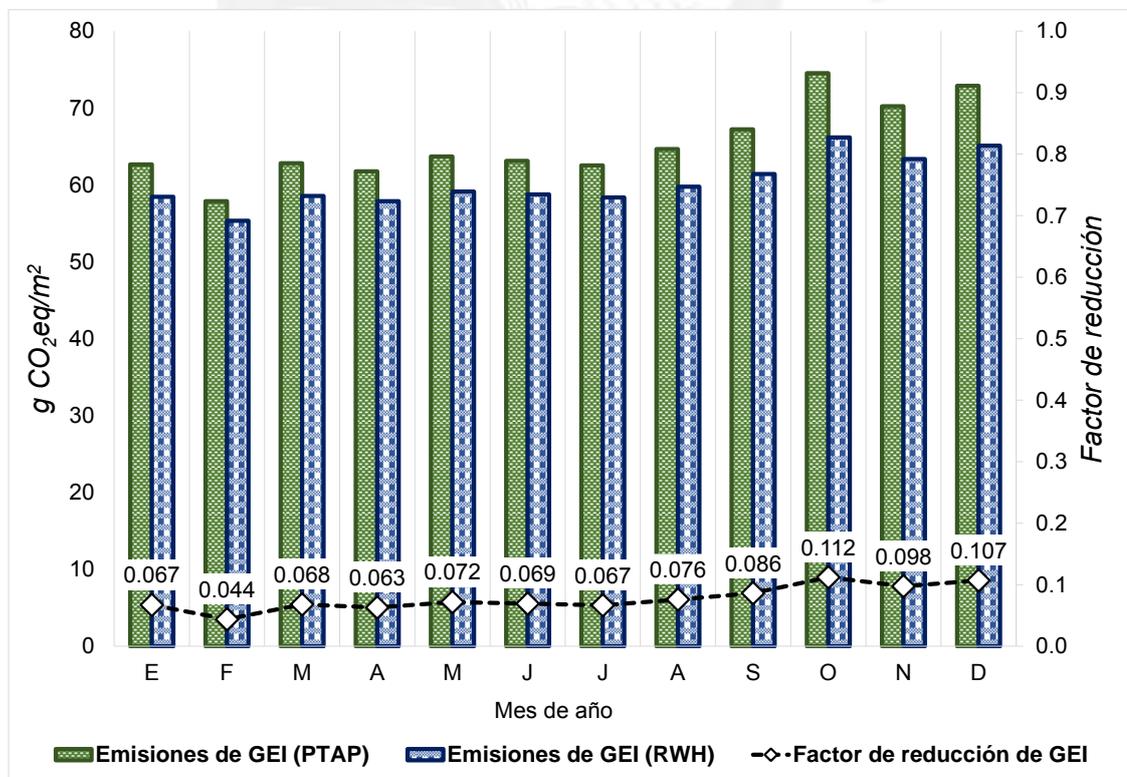


Figura 3.10 Variación de emisiones de GEI en Pucallpa (elaboración propia).

3.3 Alimentos

De los dos (02) cultivos seleccionados en el análisis, se obtuvieron factores de autosuficiencia de 38.17 (tomate) y 135.48 (lechuga), los cuales son computados con los valores de consumo actual, presentados con anterioridad y cuantificados por el INEI (2015) en 8.50 kg/ per cápita (tomate) y 0.90 kg/ per cápita (lechuga), y los ratios de producción obtenidos por Ester Sanyé-Mengual (2016), para ambientes urbanos con climas semiáridos y áridos, en 324 kg/ per cápita (tomate) y 121.94 kg/ per cápita (lechuga). Por tanto, se afianza la seguridad alimentaria de un producto de alta demanda y de un producto que, prácticamente, no se consume.

El desagregado del inventario de ciclo de vida contempla los siguientes porcentajes de participación en la cuantificación del impacto ambiental de potencial de calentamiento global: (a) materiales para configuración de huerto (37.50%); (b) energía a través de equipos (11.56%); (c) sustrato (12.68%); (d) fertilizantes (32.68%); (e) pesticidas (0.65%); (f) agua (4.93%). Los fertilizantes empleados en esta producción son, principalmente, nitrógeno, fósforo, potasio y con un pequeño aporte de otros secundarios como el magnesio, azufre y boro. El inventario analiza el ciclo de vida del producto desde el inicio hasta que alcanza al consumidor. En consecuencia, se cuantifican las emisiones de GEI asociadas a la implementación del huerto urbano y la producción respectiva de los productos agrícolas; las cuales son 0.216 kgCO₂eq/ kg (tomate) y 4.88 KgCO₂eq/kg (lechuga) que, en comparación, con las respectivas emisiones de GEI computadas para la producción agrícola rural actual (bajo la misma perspectiva de ciclo de vida desde el inicio hasta que alcanza al consumidor) en 0.73 kgCO₂eq/ kg (tomate) y 30.60 kgCO₂eq/ kg (lechuga), son valores apreciablemente menores. Por tanto, y de igual forma, se cuantifica el factor de reducción de emisiones de GEI en 0.296 (tomate) y 0.159 (lechuga); éstos pueden ser analizados, también, como porcentajes de reducción. Nótese que la lechuga se mantiene como el producto que es más intensivo en términos de este impacto ambiental, su índice de relación, respecto del tomate, es 41.92 para el contexto actual y de 22.59 para el contexto de huertos urbanos.

Los cálculos de autosuficiencia y reducción de impacto ambiental se computan para un año, los ratios y factores están configurados en base a ese lapso. La Tabla 3.4 indica tantos los valores de producción agrícola (actual y con huerto urbano) como los valores de reducción de emisiones de GEI (actual y con huerto urbano); particularmente, estos resultados son para las ciudades de la costa (Ica) donde las características de la cubierta y la climatología permiten implementar un huerto urbano apropiado. Por un lado, los techos son, prácticamente, totalmente planos, sin presencia considerable de elementos de obstrucción; y por otro lado, la climatología, con alta radiación solar durante todo el año y sin notable probabilidad de ocurrencia de fenómenos naturales estacionales de alto impacto, configuran el escenario ideal encontrado en otras ciudades del mundo con las mismas características.

Tabla 3.4 Autosuficiencia alimentaria y emisiones de GEI asociada.

		Tomate	Lechuga
		kg/ per cápita/ año	
Autosuficiencia	Consumo actual	8.50	0.90
	Huertos urbanos	324.42	121.94
	<i>Factor de autosuficiencia</i>	38.17	135.48
		gCO ₂ eq/ kg / año	
Reducción de emisiones de GEI	Actual	730.00	30600.00
	Huertos urbanos	216.00	4880.00
	<i>Factor de reducción</i>	0.296	0.159

(Elaboración propia)

Adicionalmente, la particularidad que tiene Ica es que es una ciudad agrícola, donde existe la presencia de cultivos a gran escala aledaños que tienen fines de exportación y distribución nacional. En consecuencia, las aguas efluentes de esta actividad ya contienen dos de los agentes inventariados en la producción de tomate y lechuga en huertos urbanos: fertilizantes y agua. Por tanto, utilizar estas aguas fertilizadas directamente en las cubiertas, representaría la implementación de una economía circular de agua y alimentos; reduciendo el estrés hídrico que poseen actualmente las ciudades costeras y afianzando la seguridad alimentaria asociada.

Capítulo IV: Discusión

La tecnología continúa mejorando y permite realizar numerosos procesos urbanos con mayor eficiencia. Diversos estudios han estudiado la aplicación específica de elementos que se adaptan a subsistemas urbanos y captan los recursos del territorio. Recursos que se producen en fuentes externas son vulnerables parcialmente e incrementan su potencial de cambio climático.

4.1 Potencial de autosuficiencia

En base a los resultados, se ha observado que es posible obtener factores de autosuficiencia energética e hídricos superiores a 1. (i) *Vector energía*, se ha observado que es notablemente viable implementar los sistemas fotovoltaicos en los subsistemas urbanos infrautilizados, para este estudio, las cubiertas. La oferta de este recurso en todo el territorio peruano hace que sea mucho más sencillo aprovecharlo (países donde se ha implementado a gran escala la captación de la energía solar, son, en la mayoría de casos, aquellos donde la energía solar incidente mínima es, como máximo, el 60% de la oferta en Perú, Chile), si a este aspecto se suma la tecnología de vanguardia que poseen los sistemas fotovoltaicos actualmente (baterías, módulos, red de distribución), la seguridad energética se incrementa. Posteriormente, es pertinente analizar cómo se va modificando el grado de autosuficiencia con el crecimiento de la demografía y de la demanda de energía, se reduce la vulnerabilidad actual.

(ii) *Vector agua*, a través del balance hídrico, es posible abastecer al suministro de servicio de manera permanente. Este aspecto es más importante en ciudades que tienen interrupción del servicio, especialmente durante el día, Ayacucho y Pucallpa son vulnerables en este sentido: durante algunos días de la semana, el flujo de este servicio se detiene por trabajos de mantenimiento en las redes de abastecimiento o en la planta de tratamiento.

(iii) *Vector alimentos*, el análisis cualitativo comparativo ha permitido definir el nivel de cobertura de abastecimiento en los productos analizados. Por un lado, afianzar aquellos productos de mayor consumo y; por otro lado, es esencial, proporcionar variedad en términos nutricionales.

4.2 Emisión de GEI y relevancia ambiental

Las emisiones de GEI varían significativamente dependiendo de qué vector se está analizando. (i) *Vector energía*, la relevancia y beneficio ambiental es notable. Existen importantes reducciones de emisiones de GEI en las ciudades de la costa y la selva, principalmente debido a que, como se indicó, el mix eléctrico regional, que se constituye en cada ciudad, determina si existe un beneficio ambiental considerable, en términos del impacto de potencial de calentamiento global, donde se han evaluado todas las características de los sistemas fotovoltaicos descentralizados, encontrándose resultados positivos.

(ii) *Vector agua*, se ha observado que las emisiones se incrementan de implementar sistemas de almacenamiento de agua por el uso del concreto puzolánico. Los tanques de almacenamiento óptimos son de mayor o menor volumen según la distribución de pluviometría que se presente a lo largo del año; en las ciudades de la sierra, donde existe épocas diferenciadas de avenidas y sequías, los tanques requieren de mayor volumen; en las ciudades de la selva, la precipitación es intensiva y constante durante todos los meses, por lo que los tanques son de menor volumen. En base a este factor, principalmente, es que no se presenta beneficio ambiental en cuanto el potencial de calentamiento global. Adicionalmente, se buscó analizar el impacto ambiental de huella hídrica por el método AWARE; no obstante, este análisis no ha sido posible debido a que el agua de lluvia se considera como agua verde y que, además, las sub cuencas donde llega la precipitación es la misma de la cual procede al agua que, actualmente, abastece a las ciudades.

(iii) *Vector alimentos*, el inventario de los requerimientos necesarios para producir alimentos agrícolas en la cubierta se ha utilizado para cuantificar las emisiones de gases de efecto invernadero. Estos productos son desarrollados sin invernadero, de esta manera se reduce el gasto energético ya que no es necesario dar climatización estacional. La radiación solar es considerable y no se presenta fenómenos naturales intensivos durante el año que pudieran deteriorar los cultivos, estos dos aspectos son determinantes en la toma de decisiones para implementar o no cultivos en cubiertas en las ciudades; además, define si es necesario o no el uso de un invernadero.

4.3 Análisis de sensibilidad

A través de este análisis se puede calcular valores óptimos de ciertos parámetros urbanos que permitirán dar directrices a los lineamientos de planificación sostenible. La Tabla 4.1 indica los valores objetivos para satisfacer la condición de cada contexto, estos cuatro escenarios permiten conocer en cuánto y cómo se modificará el grado de autosuficiencia energética en el caso que varíen ciertos parámetros.

Tabla 4.1 Escenarios del análisis de sensibilidad energético.

Escenario 01	Unidad	Ica	Ayacucho	Pucallpa
Máxima densidad demográfica residencial para mantener factor de autosuficiencia de 1	hab/m ²	0.086	0.078	0.046
Porcentaje de incremento de densidad demográfica residencial respecto de la actual	%	171	143	100
Escenario 02				
Porcentaje de incremento del factor de autosuficiencia energética con una eficiencia de 22% en los módulos solares	%	21.1	20.2	21.9
Escenario 03				
Máxima densidad demográfica residencial para mantener factor de autosuficiencia de 1	hab/m ²	0.104	0.093	0.056
Porcentaje de incremento de densidad demográfica residencial respecto de la actual	%	227	189	144
Escenario 04				
Porcentaje anual de incremento de consumo eléctrico	%	0.71	1.46	0.3
Porcentaje anual de incremento de densidad demográfica residencial	%	3.78	4.41	4.26
Factor de autosuficiencia en 2030	-	1.42	1.07	0.88

(Elaboración propia)

Las Figuras 4.1, 4.2 y 4.3 muestran los resultados gráficamente de la Tabla 4.1. Los escenarios planteados analizan la variación de las variables más sensibles que generan cambios importantes en el factor de autosuficiencia. Con el análisis de esos casos, se puede observar y entender cómo irá variando la autosuficiencia de las ciudades en el vector energía. La Figura 4.1 indica la combinación de los escenarios 01 y 03, donde el primero es un análisis considerando el contexto actual, donde se calcula la densidad demográfica objetivo para mantener el grado crítico de autosuficiencia, es decir, el factor de uno (01); mientras que tercero es equivalente al primero pero considerando el incremento esperado al 22% de los módulos solares.

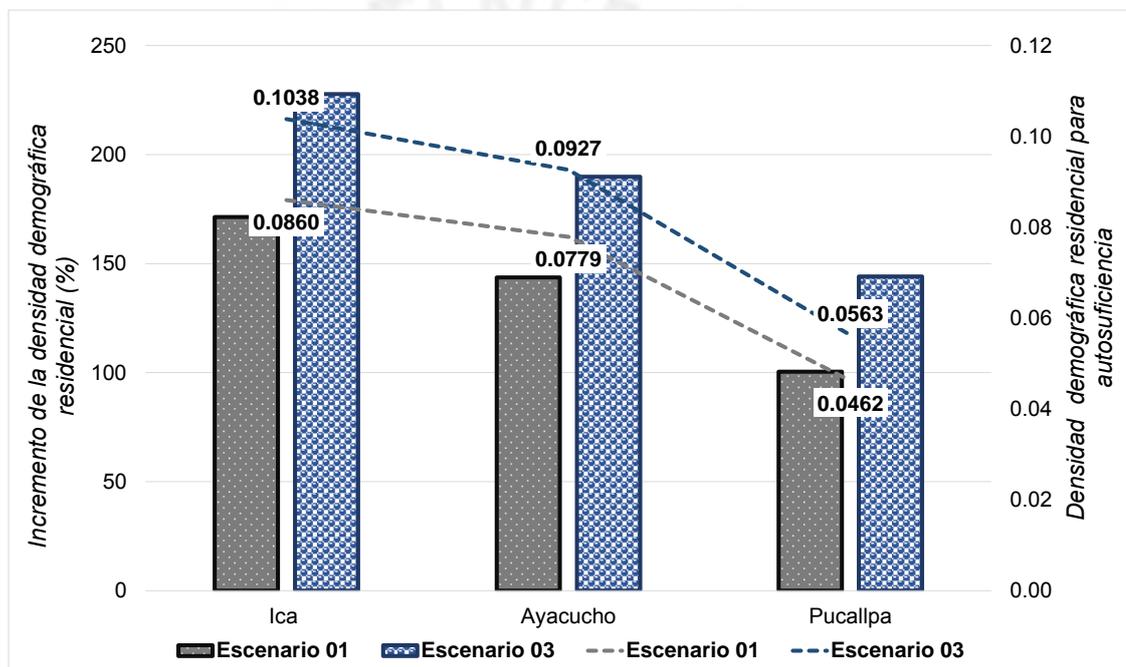


Figura 4.1 Escenarios 01 y 03 del análisis de sensibilidad energético (elaboración propia).

La Figura 4.2 indica la variación en el grado de autosuficiencia energética producto del incremento al 22% de la eficiencia de los módulos solares. Obsérvese que, según cada ciudad analizada, el incremento es distinto; esta diferencia se presenta debido a que se presentan diferentes valores de temperatura en cada ambiente. Evidentemente, la tecnología de los componentes de los sistemas fotovoltaicos irá mejorando, haciendo de éstos sistemas, cada vez más eficiente y alcanzando niveles de aprovechamiento notablemente mayores a los actuales.

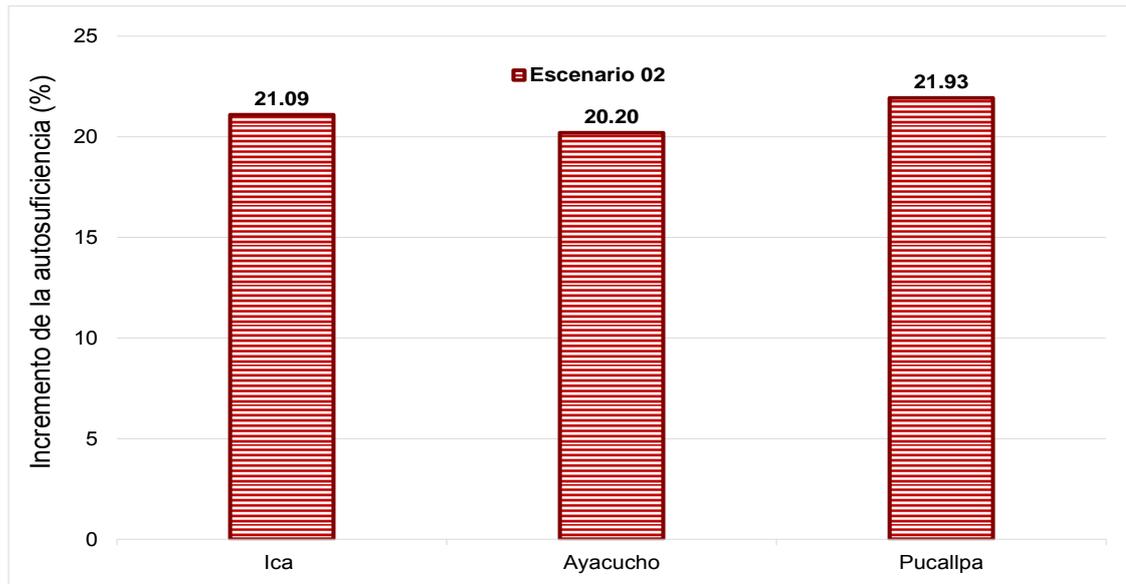


Figura 4.2 Escenario 02 del análisis de sensibilidad energética (elaboración propia).

La Figura 4.3 expresa el escenario 4, donde es pertinente limitar la densidad demográfica residencial de tal forma que no se pierda el factor de autosuficiencia de 1 al 2030. Este escenario contempla los incrementos de densidad demográfica residencial y de demanda energética; para computar esta situación, se ha considerado, de forma conservadora, el mayor valor registrado en los últimos cinco años para ambas variables; de esta manera se obtiene garantía en que el valor obtenido es el mínimo esperado.

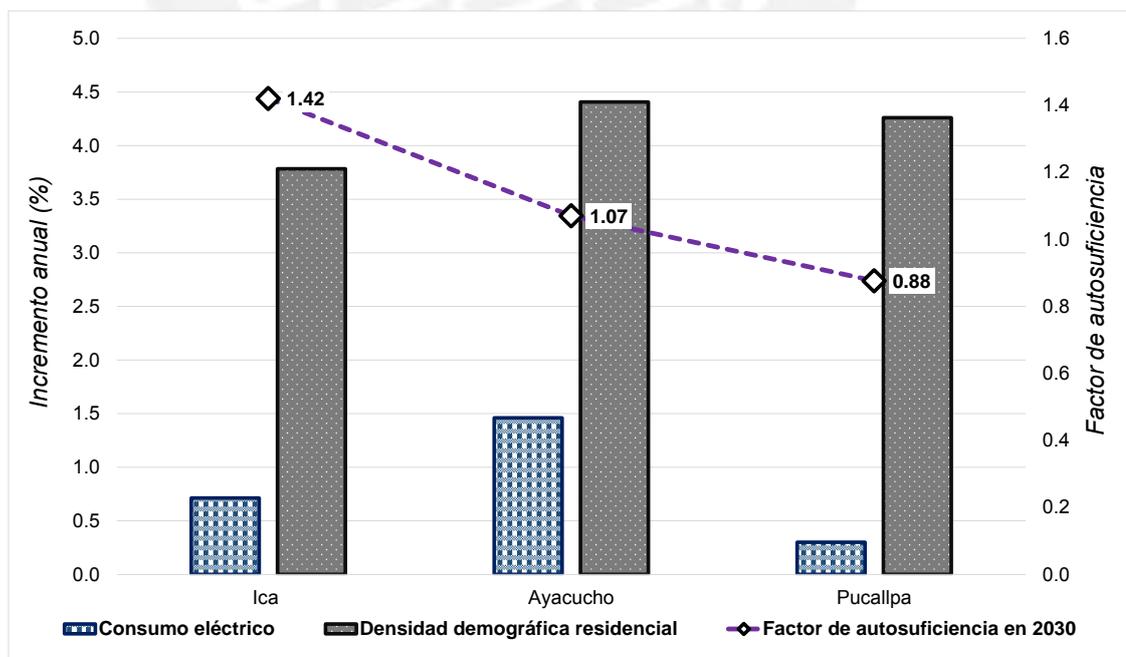


Figura 4.3 Escenario 04 del análisis de sensibilidad energético (elaboración propia)

Capítulo V: Conclusiones

Los planes de desarrollo urbano a futuro deben implementar sistemas de captación de recursos en áreas infrautilizadas. La metodología aplicada es replicable para toda ciudad de categoría media, especialmente para Latinoamérica donde se encuentran ciudades con características similares a las estudiadas en Perú. El rol de la acción política es fundamental, líderes de alcaldías y regiones deben considerar que el crecimiento urbano actual genera vulnerabilidad en el suministro de energía, agua y alimentos. Asimismo, dar transición a sistemas descentralizados de bajo consumo de carbono sustenta el compromiso medioambiental del país. Así también, el estudio tiene como resultados una reducción sustancial en las emisiones de GEI (energía). No obstante, de acuerdo a los tipos de energía que constituyen el mix eléctrico actual regional, la reducción del GWP varía. La implementación de sistemas fotovoltaicos representa una acción directa, con beneficios significativos, a la mitigación del cambio climático.

En la medida de lo posible, para futuros estudios, se busca mayor precisión en los datos que conduzca a resultados más reales. Evidentemente, al implementar estos sistemas, se debe analizar cada caso (vivienda, edificación) de manera particular. El estudio brinda un esquema global a nivel de ciudad ya que la metodología es consistente para determinar valores aproximados de autosuficiencia y reducción de emisión de GEI. Asimismo, futuros estudios podrán abarcar otras áreas urbanas no consideradas como terrenos baldíos, espacios de esparcimiento público. Finalmente, definir inversiones en energía renovable no convencional, captación de agua de lluvia para usos no potables y huertos urbanos reduce la dependencia externa que presentan las ciudades actualmente; asimismo, reduce las emisiones de carbono equivalente. Para que proyectos similares sean una realidad, se deben producir cambios en las políticas ambientales y planes de desarrollo urbano en sostenibilidad, en conjunto, en todos los niveles de gobierno: central, regional, local; así como en el sector público y privado.

Referencias

- Angrill, S., Farreny, R., Gasol, C. M., Gabarrell, X., Viñolas, B., Josa, A., & Rieradevall, J. (2012). *Environmental analysis of rainwater harvesting infrastructures in diffuse and compact urban models of Mediterranean climate*. The International Journal of Life Cycle Assessment, 17(1), 25-42.
- Banco Central de Reserva del Perú (2016). *Caracterización económica de la región Ica, Ayacucho y Ucayali*. BCRP.
- BID. (2009). *Construir ciudades, mejoramiento de barrios y calidad de vida urbana*. Washington, DC.
- BID. (2011). *Sostenibilidad urbana en Americana Latina y el Caribe*. Washington DC.
- Battle, C., Barroso, L., & Echevarría, C. (2012). *Evaluación del marco normativo e institucional del Perú para la promoción de energía eléctrica a partir de recursos renovables*. IDB. Washington DC.
- Borja, J. (2003). Ciudad y planificación: La urbanística para las ciudades de América Latina. *Cuadernos de la CEPAL*. Santiago de Chile.
- CEPAL. (2016). *Plan para la seguridad alimentaria, nutrición y erradicación del hambre de la CELAC 2025: una propuesta para seguimiento y análisis*. Santiago de Chile.
- Coviello, M. (2003). *Entorno internacional y oportunidades para el desarrollo de las fuentes renovables de energía en los países de América Latina y el Caribe*. CEPAL. Santiago de Chile.
- De La Cruz, Y. (15 de mayo de 2016). *Regiones naturales del Perú*. Obtenido de: <http://es.slideshare.net/yenny2010/las-regiones-naturales-del-per>
- Delgado, G., Campos, C., & Rentería, P. (2012). *Cambio Climático y el Metabolismo Urbano de las Megaurbes Latinoamericanas*. HS, 2(1), 2-25.
- Depetri, Y.; Kallis, G.; Baró, F.; Catteno, C. (2016). *The urban political ecology of ecosystem services: the case of Barcelona*. Ecological Economics V125.

- Farreny, R., Morales-Pinzon, T., Guisasola, A., Taya, C., Rieradevall, J., & Gabarrell, X. (2011). Roof selection for rainwater harvesting: quantity and quality assessments in Spain. *Water research*, 45(10), 3245-3254.
- Floater, G., Rode, P., Robert, A., Kennedy, C., Hoornweg, D., Slavcheva, R., & Godfrey, N. (2014). Cities and the New Climate Economy: the transformative role of global urban growth.
- FAO. (2016). *La agricultura urbana y periurbana en América Latina y el Caribe: variables para la sistematización y reducción de vulnerabilidad en los cultivos en ambientes no agresivos*. Banco Interamericano de Desarrollo.
- Giussani, S., Luengo, M. & Poujol, G. (2010). Impacto del turismo sobre el metabolismo urbano y la sostenibilidad de las ciudades intermedias mediterráneas. In *Sustainable Building Conference* (pp. 1-12).
- Gouldson, A., Colenbrander, S., McAnulla, F., Sudmant, A., Kerr, N., Sakai, P. & Kuylenstierna, J. (2014). The economic case for low carbon cities. *A New Climate Economy*.
- Hartner, M., Ortner, A., Hiesl, A., Haas, R. (2015). *The optimal tilt angle and orientation of photovoltaic panels from and electricity system perspective*. In *Applied Energy*, Elsevier.
- Hernández Romero, A. (2016). *Análisis económico de un sistema de almacenamiento para la disminución de desvíos de producción en un parque eólico. Baterías para almacenamiento de energía*. Escuela Técnico Superior de Ingeniería, Universidad de Sevilla. Sevilla – España.
- Hong, T., Lee, M., Koo, C., Kim, J., Jeong, K. (2015). *Estimation of the available rooftop solar photovoltaic (PV) system by analyzing the building shadow using Hillshade analysis*. In *Energy Procedia*, Elsevier.
- Hoekstra, A. (2008). *Virtual Water Trade. Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade*. IHE Delft, The Netherlands. Value of Water, Research Report Series N° 12.
- INEI. (2010). *Perú: estimaciones y proyecciones de población departamental por años calendario y edades 1995 – 2025*. Lima: INEI.
- Ishugah, T., Li, Y., Wang, R., & Kiplagat, K. (2014). Advances in wind energy resource exploitation in urban environment: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 37, 613-626.

- Jordán Fuchs, R., Simioni, D., & Degli Affari Esteri, M. (2003). *Gestión urbana para el desarrollo sostenible en América Latina y el Caribe*. CEPAL. Santiago de Chile.
- Kennedy, C., Pincetl, S., & Bunje, P. (2011). The study of urban metabolism and its applications to urban planning and design. *Environmental pollution*, 159(8), 1965-1973.
- Lizárraga, C. (2014). Movilidad urbana sostenible: un reto para las ciudades del siglo XXI. *Revista Economía, Sociedad y Territorio*, 6(22).
- Leff, E., Argueta, A., Boege, E., & Gonçalves, P. (2002). Más allá del desarrollo sostenible: la construcción de una racionalidad ambiental para la sustentabilidad: una visión desde América Latina. *La transición hacia el desarrollo sustentable: perspectivas de América Latina y el Caribe*, 477-576.
- Leff, E. (2002). *La transición hacia el desarrollo sustentable: perspectivas de América Latina y el Caribe* (No. 6). Instituto Nacional de Ecología.
- Lutz, W. F. (2001). Reformas del sector energético, desafíos regulatorios y desarrollo sustentable en Europa y América Latina.
- Martín, C. A. (2000). Urbanismo, Energía y Medio Ambiente. *Observatorio medioambiental*, (3), 401.
- Mastrucci, A., Baume, O., Stazi, F., & Leopold, U. (2014). Estimating energy savings for the residential building stock of an entire city: A GIS-based statistical downscaling approach applied to Rotterdam. *Energy and Buildings*, 75, 358-367.
- McManus, M.C., 2012. Environmental consequences of the use of batteries in low carbon systems: The impact of battery production. *Appl. Energ.* 93, 288-295.
- MINAM. (2009). *Política Nacional del Ambiente*. Lima:
- MINAM. (2011). *Registro de emisiones y transferencia de contaminantes RECT*. Lima.
- MINAM (2015) Contribución prevista y determinada a nivel nacional (INDC) de la República del Perú.. Obtenido de: www.minam.gob.pe/wpcontent/uploads/2015/09/ESPA%C3%91OL.pdf.
Último acceso: Agosto 14 2017.

- MINEM, 2011. Mapa de potencia instalada y producción de energía eléctrica – 2010. Ministerio de Energía y Minas – Perú. Obtenido de: www.minem.gob.pe/_estadisticaSector.php/?idSector=6. Último acceso: Julio 14, 2017.
- MINEM, 2012. Mapa de potencia instalada y producción de energía eléctrica – 2011. Ministerio de Energía y Minas – Perú. Obtenido de: www.minem.gob.pe/_estadisticaSector.php/?idSector=6. Último acceso: Julio 14, 2017.
- MINEM, 2013. Mapa de potencia instalada y producción de energía eléctrica – 2012. Ministerio de Energía y Minas – Perú. Obtenido de: www.minem.gob.pe/_estadisticaSector.php/?idSector=6. Último acceso: Julio 14, 2017.
- MINEM, 2014. Mapa de potencia instalada y producción de energía eléctrica – 2013. Ministerio de Energía y Minas – Perú. Obtenido de: www.minem.gob.pe/_estadisticaSector.php/?idSector=6. Último acceso: Julio 14, 2017.
- MINEM, 2015. Mapa de potencia instalada y producción de energía eléctrica – 2014. Ministerio de Energía y Minas – Perú. Obtenido de: www.minem.gob.pe/_estadisticaSector.php/?idSector=6. Último acceso: Julio 14, 2017.
- MINEM, 2016. Mapa de potencia instalada y producción de energía eléctrica – 2015. Ministerio de Energía y Minas – Perú. Obtenido de: www.minem.gob.pe/_estadisticaSector.php/?idSector=6. Último acceso: Julio 14, 2017.
- Morán Alonso, N. (2011). Huertos urbanos en tres ciudades europeas: Londres, Berlín, Madrid. *Boletín CF+ S*, (47/48), 1-71.
- Morales Pinzón, T., Rieradevall Pons, J., Gabarrell Durany, X., Martínez Gasol, C. (2011). *Gestión sostenible de agua de lluvia en sistemas urbanos*. ICTA – UAB, Barcelona.
- OMS. (2003). *Diet, nutrition and the prevention of chronic diseases: report of a Joint WHO/FAO Expert Consultation*. WHO Technical Report Series, No. 916. Geneva: World Health Organization.
- OMS. (2004). *Guía de diseño para captación de agua de lluvia*. Especificaciones técnicas. Lima – Perú.

- Osinermin. (2017). *La industria de la electricidad en el Perú: 25 años de aportes al crecimiento económico del país*. Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería, N° 2017 – 01864. Lima, Perú.
- PRé-Product Ecology Consultants, 2017. SimaPro 8.3. PRè Consultants. The Netherlands.
- Pulgar – Vidal, J., 1943. Las Ocho Regiones Naturales del Perú. Cuadernos del Archivo de la Universidad. Pontificia Universidad Católica del Perú, área de geografía.
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2010). *Informe regional sobre desarrollo urbano para América Latina y el Caribe*. Nueva York: PNUD.
- Ramos, G. C. D. (2014). Ciudad, agua y cambio climático: una aproximación desde el metabolismo urbano. *Medio ambiente y urbanización*, 80(1), 95-123.
- Riechmann, J. (1995). Desarrollo sostenible: la lucha por la interpretación. *De la economía a la ecología*, 11-35.
- Rieradevall Pons, J., Llorach Massana, P., Sanjuan-Delmás, D., Sanyé-Mengual, E., Nadal, A., Cuerva Contreras, E., & Muñoz, P. (2014). *Agrouban sustainability through rooftop greenhouses. Ecoinnovation on residual flows of energy, water and CO2 for food production*. In II Simposio de la Red Española de Análisis de Ciclo de Vida.
- Rodríguez, B. R. (2003). El análisis del ciclo de vida y la gestión ambiental. *Boletín iiE*, 91-97.
- Sanyé-Mengual, E., Oliver-Solà, J., Montero, J. I., & Rieradevall, J. (2015). *An environmental and economic life cycle assessment of rooftop greenhouse (RTG) implementation in Barcelona, Spain. Assessing new forms of urban agriculture from the greenhouse structure to the final product level*. *The International journal of life cycle assessment*, 20(3), 350-366.
- Sanyé-Mengual, E., Rieradevall, J., Montero, J. I., & i Solà, O. (2015). *Sustainability assessment of urban rooftop farming using an interdisciplinary approach*. A thesis submitted in fulfillment of the requirements for the PhD degree in Environmental Sciences and Technology.

- Sanyé-Mengual, E., Anguelovski, I., Oliver-Solà, J., Montero, J. I., & Rieradevall, J. (2016). *Resolving differing stakeholder perceptions of urban rooftop farming in Mediterranean cities: promoting food production as a driver for innovative forms of urban agriculture*. *Journal of Agriculture and Human Values*, 33(1), 101-120. Elsevier
- Sanyé-Mengual, E., Martínez-Blanco, J., Finkbeiner, M., Cerdà, M., Camargo, M., Ometto, A. R. & Ferreira, G. (2018). *Urban horticulture in retail parks: Environmental assessment of the potential implementation of rooftop greenhouses in European and South American cities*. *Journal of Cleaner Production*, 172, 3081-3091.
- Singh, R., Banarjee, R. (2015). *Estimation of rooftop solar photovoltaic potential of a city*. In *Solar Energy*, Elsevier.
- Sendra, J. B., & García, R. C. (2000). El uso de los sistemas de Información Geográfica en la planificación territorial. In *Anales de Geografía de la Universidad Complutense* (Vol. 20, p. 49).
- Ushñahua, L. E. Q. (2004). Valoración de las aguas residuales en Israel como un recurso agrícola: consideraciones a tomar en cuenta para la gestión del agua en el Perú. *Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica*, 7(13), 64-72.
- Van Oel, P & Mekonnen, M., Hoekstra, A. (2008). *The external Water Footprint of The Netherlands. Quantification and Impact Assessment*. Unesco – IHE Institute of Water Education. Value of Water, Research Report Series N° 33.
- Vázquez-Rowe, I., Reyna, J. L., García-Torres, S., & Kahhat, R. (2015). *Is climate change-centrism an optimal policy making strategy to set national electricity mixes?* *Applied energy*, 159, 108-116.
- Winchester, L. (2006). Desafíos para el desarrollo sostenible de las ciudades en América Latina y El Caribe. *EURE (Santiago)*, 32(96), 7-25.
- WWF Perú. (2013). *Huella hídrica del sector agropecuario del Perú. Reporte #1: Estado del arte de la medición de la huella hídrica a nivel nacional e internacional*. Ministerio de Agricultura y Riego. Autoridad Nacional del Agua. Dirección de Conservación y Planeamiento de Recursos Hídricos.