



CONSUMO SUSTENTABLE DE AGUA EN VIVIENDAS DE LA CIUDAD DE CUENCA

SUSTAINABLE WATER CONSUMPTION OF DWELLINGS IN THE CUENCA CITY

Eduardo Molina¹, Felipe Quesada¹, Andrea Calle¹, Jéssica Ortiz^{1,*}, Diana Orellana¹

Resumen

El presente estudio propone y sustenta la aplicación de cuatro criterios para la gestión sustentable de agua potable al interior de la vivienda en la ciudad de Cuenca, Ecuador. Los criterios determinados son el control del consumo de agua, el control de fugas, el uso de dispositivos ahorradores y los sistemas de reutilización de agua. Se definen tres niveles de valoración para cada criterio: básico, intermedio y superior. Para el desarrollo de la investigación se aplican encuestas a la población que permiten sondear la existencia y la predisposición de incorporar prácticas de ahorro de agua potable en las viviendas; además, se realizan mediciones del consumo de agua por usos en diez viviendas durante una semana; conjuntamente se procesa la información oficial del consumo de agua del cantón Cuenca facilitado por la empresa municipal de la ciudad y se analizan varias normas: ISO, INEC y la Norma Técnica Ecuatoriana de la Construcción, entre otras. Finalmente, se concluye con la determinación de un porcentaje de ahorro de agua de hasta el 30 %, que se puede obtener con la aplicación de prácticas sustentables.

Palabras clave: consumo de agua, estrategias de ahorro de agua, reutilización de agua, sustentabilidad del agua.

Abstract

This study proposes and supports the application of 4 criteria for the sustainable management of drinking water in households in the city of Cuenca, Ecuador. The established criteria are: the control of water consumption, the control of leaks, the use of saving devices and water reuse systems. Three levels of assessment are defined for each criterion: basic, intermediate and superior. For the development of the research, surveys are applied to the population, in order to gauge the existence of and predisposition to incorporate drinking water saving practices in the homes. In addition, measurements of water consumption by uses are made in 10 homes for a week. Official information on the water consumption of the canton Cuenca facilitated by the municipal company of the city is processed, and several standards are analyzed: ISO, INEC and the Ecuadorian Technical Construction Standard, among others. Finally, the conclusion presents a percentage of water savings of up to 30%, which can be obtained through the application of sustainable practices.

Keywords: Water consumption, water saving strategies, water recycling, water sustainability.

^{1,*}Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad de Cuenca, Ecuador.

Autor para correspondencia ✉: jessicam.ortizf@ucuenca.edu.ec , <http://orcid.org/0000-0002-7298-1827>

<http://orcid.org/0000-0002-6931-0192> , <http://orcid.org/0000-0003-0762-3772>

<http://orcid.org/0000-0002-6167-6720> , <http://orcid.org/0000-0002-4684-6613>

Recibido: 03-05-2018, aprobado tras revisión: 12-06-2018

Forma sugerida de citación: Molina, E.; Quesada, F.; Calle, A.; Ortiz, J. y Orellana, D. (2018). «Consumo sustentable de agua en viviendas de la ciudad de Cuenca». *INGENIUS*. N.º 20, (julio-diciembre). pp. 28-38. DOI: <https://doi.org/10.17163/ings.n20.2018.03>.

1. Introducción

El 70 % del planeta Tierra está cubierto por agua, cuyo 98 % es agua salada y la tecnología actual para potabilizarla todavía es muy restringida debido a sus altos costos. Cerca del 2 % del agua dulce se localiza en los casquetes polares o en los acuíferos, por lo cual, solo queda disponible el 0,014 % en los lagos y ríos de la superficie terrestre [1].

En el mundo, la cobertura de agua potable sigue siendo un problema, tanto en las ciudades como en el entorno rural. A mediados del presente siglo, 7000 millones de personas en 60 países sufrirán escasez de agua, en el peor de los casos, y en el mejor se tratará de 2000 millones de personas en 48 países. Las estimaciones recientes sugieren que el cambio climático será responsable de alrededor del 20 % del incremento de la escasez global de agua [2]. Una de las alternativas impulsada en los años recientes es el enfoque del derecho humano al agua, así en la resolución a/res/64/292 de la Asamblea General de la ONU, se declara explícitamente «el derecho al agua potable y el saneamiento como un derecho humano esencial para el pleno disfrute de la vida y de todos los derechos humanos» [3, 4].

Por lo tanto, las poblaciones se verán favorecidas en la medida en que se minimice el uso del agua y exista un compromiso por parte de la ciudadanía de mantener el líquido que hoy poseen para satisfacer sus necesidades básicas y garantizar su oferta a poblaciones futuras [1]. De esta manera, el consumo sustentable del agua se define como «el uso de agua que permite sostener a una sociedad para que perdure y se desarrolle en un futuro indefinido sin alterar la integridad del ciclo hidrológico y de los ecosistemas que dependan de él» [5, 6].

En el ámbito internacional se encuentran varios métodos de certificación para la vivienda sustentable que incorporan indicadores para el ahorro de agua potable, entre los métodos más reconocidos están: VERDE NE Residencial Oficinas [7], LEED® for Homes Rating System [8] y Manual BREEAM ES VIVIENDA [9].

Estos métodos contemplan varias estrategias como la detección de fugas mediante el registro histórico, lo cual permite llevar un balance entre el agua suministrada y el agua consumida [10–12]; la instalación de dispositivos ahorradores, que permite disminuir hasta el 30 % del consumo [1, 13]; el aprovechamiento del agua lluvia, que puede almacenarse para ciertos usos de la vivienda [14, 15]; la utilización de técnicas de reciclaje de agua, que consiste en la reutilización de las aguas residuales domésticas, permitiendo por ejemplo, volver a cargar los inodoros con aguas grises [16, 17]; y la implementación de medidores de chorro único chorro múltiple, con el fin de controlar el consumo permitiendo alcanzar un ahorro de hasta el 20 % [18, 19].

1.1. Agua potable en la ciudad de Cuenca

Según la Organización Mundial de la Salud, el acceso óptimo al agua con el fin de atender todas las necesidades básicas de consumo e higiene, para no tener efectos en la salud, debería ser superior a 100 l/habitante/día [20], mientras que la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2011 establece que la dotación para una vivienda debe ser entre 200 a 350 l/habitante/día, reflejando un rango muy amplio, lo cual impide la existencia de un control de consumo [21].

Esta falta de control genera que los niveles de consumo se incrementen con el paso del tiempo, tal es el caso de Cuenca, que para garantizar la continuidad de servicio de agua, cuenta con una captación de 120 000 m³ [22] para una población de 524 563 habitantes [23]. Tomando en cuenta que la proyección de población para el año 2050 llegará a 901 499 habitantes [24], será necesario captar 4610 l/s de agua, si se mantiene el consumo y demanda de agua potable actual, lo que equivale a un aumento del 71,85 % de la captación.

Obtener este porcentaje de nueva demanda pone en riesgo los recursos hídricos considerando, además, que en la actualidad ya se explotan tres de los cuatro ríos de la ciudad. En términos monetarios el requerimiento de obras de infraestructura para el 2050 implica una inversión de 6865 millones de dólares [24].

Esto ocasionaría que la dotación de agua potable en la ciudad de Cuenca, incremente y se compare al de otras localidades latinoamericanas, como Buenos Aires-Argentina donde existe una dotación de 356 l/habitante/día, San Pablo-Brasil de 227 l/habitante/día, y Santiago de Chile 203 l/habitante/día [25].

Por lo tanto, es necesario un manejo sustentable del agua en las viviendas de Cuenca con el fin de disminuir estos porcentajes.

Con estos antecedentes, el presente estudio plantea la posibilidad de reducción del consumo de agua potable en viviendas de esta ciudad, sin afectar la calidad ni estilo de vida de sus habitantes, mediante la aplicación de criterios sustentables como incorporar agua lluvia para ciertos usos domésticos, emplear aparatos sanitarios ahorradores y técnicas de reciclaje de agua.

2. Materiales y métodos

La metodología de la presente investigación es de tipo no experimental y cuantitativa, comprende dos etapas:

2.1. Determinación de criterios de evaluación para disminuir el consumo de agua potable

Para la determinación de criterios se realiza una comparación de cuatro métodos de evaluación interna-

cionales, donde se estudia la temática referente a la gestión sustentable del agua potable dentro de la vivienda, con el fin de encontrar convergencias entre los mismos y establecer los criterios que se considerarán. Los métodos analizados son GEA VERDE NE [7], LEED® for Homes Rating System [8], CASBEE FOR NEW CONSTRUCTION [26] y MANUAL BREEAM ES VIVIENDA [9].

Para determinar si los criterios de evaluación son factibles de aplicar en la realidad local de Cuenca se establecen los siguientes juicios de selección [27]:

1. El criterio de evaluación es compatible con las características que poseen las viviendas y/o la ciudad.
2. El criterio de evaluación contribuye a superar los problemas existentes en las viviendas y/o la ciudad.
3. El método para evaluar fue factible de aplicar.
4. Los niveles de exigencia están en línea con las condiciones locales.
5. El tipo de evaluación que se realiza se basa en desempeños.
6. El criterio de evaluación contribuye a mejorar el confort de las viviendas y/o las condiciones de la ciudad.

2.2. Determinación de niveles de valoración

Uno de los mayores retos de la investigación es determinar los valores mínimos o estándares a cumplir en cada criterio evaluado, que responda a la realidad local. El proceso utilizado en esta etapa comprende los siguientes tres apartados:

2.2.1. Encuestas a 280 viviendas de la ciudad de Cuenca

Se aplica una encuesta que permita sondear la existencia de prácticas de ahorro de agua potable y la predisposición de la población para incorporar estrategias sustentables. Para la encuesta se toma una muestra de 280 viviendas repartidas en el área urbana de Cuenca.

El diseño específico de muestreo estadístico es de tipo probabilístico, polimetálico y aleatorio. El número de sectores seleccionados se realizó en función del número de viviendas que existen en cada parroquia y de la distribución por nivel socioeconómico (A; B; C+; C-; D). Para determinar el estrato socioeconómico se utilizó la encuesta del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC). La muestra tiene un nivel de confianza de 95 % y un error absoluto de 0,06.

Para estimar el tamaño de la muestra se utilizó la fórmula:

$$np' = \frac{K^2 \times N \times PQ}{K^2 \times PQ + NE^2}$$

Donde:

- np' = tamaño de muestra para estimar
- K = coeficiente de confianza
- N = tamaño del universo
- PQ = varianza de la proporción
- E = error máximo admisible

La encuesta considera lo siguiente:

- ¿Utiliza algún equipo, dispositivo o sistema para ahorrar el agua?
- Para usted, ¿cuál es la importancia que tiene una vivienda que ahorre energía y agua; que en su proceso de construcción consuma menos recursos, o cause un mínimo impacto sobre el medioambiente?
- ¿Estaría usted dispuesto a invertir en una vivienda con las características de la pregunta anterior?

2.2.2. Medición del consumo de agua en 10 viviendas

Con el fin de determinar el consumo de agua en los distintos usos, se realiza un análisis específico en diez viviendas. Los criterios de selección de estas viviendas fueron la dispersión geográfica y la variedad en la tipología de la edificación, además, se considera la limitación del número de equipos de medición, pero principalmente la predisposición de los propietarios a colaborar con la investigación.

Para la medición se utilizan contadores de agua, modelo S120, de tipo velocimétrico, los cuales consisten en un medidor inferencial de chorro único, transmisión magnética, lectura directa y relojería súper seca, cumple con las exigencias metrológicas de las clases A y B de la Resolución 246; 2000 del INMETRO, de las normas MERCOSUR NM 212 e ISO 4064 [28–30].

Estos medidores fueron instalados en las diversas salidas de agua (usos): grifos en lavabos, cocinas y lavanderías, duchas, calefones y sanitarios. Se registra el consumo diario durante una semana completa para obtener datos del comportamiento de una familia en días laborables y no laborables.

Finalmente, se aplica una encuesta, la misma que se basa en la desarrollada por el Instituto Ecuatoriano de Obras Sanitarias [31] y forma parte del código ecuatoriano de la construcción [32], además, ha sido aplicada en investigaciones similares [17], [33]. Las preguntas son:

- ¿Cuántas veces utiliza el sanitario al día un miembro de su familia que habita en la vivienda?

- ¿Estaría dispuesto a utilizar el agua de lluvia en su vivienda para usos en sanitarios, riego y limpieza?
- ¿Cuánto dinero estaría dispuesto a invertir mensualmente en equipos que permitan un ahorro y uso sustentable del agua?

2.2.3. Datos de consumo de agua potable en Cuenca

Se solicita a la Empresa Pública Municipal de Telecomunicaciones, Agua potable, Alcantarillado y Saneamiento de Cuenca (ETAPA EP) las planillas de consumos de agua potable mensuales de todas las acometidas residenciales a las que brinda el servicio, con el fin de calcular la media aritmética de consumo de agua por instalación residencial existente.

Con estos resultados y con los datos de censos de población y vivienda del INEC [34], se obtiene la media aritmética de consumo de agua potable por habitante en l/habitante/día.

Además, se solicitaron los consumos de agua mensuales de las acometidas residenciales de los diez casos de estudio durante un año, con el fin de valorar las medidas obtenidas en las lecturas y determinar variaciones máximas y mínimas.

Con base en los datos que se obtienen de los puntos anteriores, se definen los estándares y estrategias para el consumo sustentable de agua en las viviendas de la ciudad de Cuenca, permitiendo determinar los porcentajes de ahorro que pueden conseguirse en consumo y costos.

3. Resultados y discusión

3.1. Determinación de criterios de evaluación para disminuir el consumo de agua potable

En la Tabla 1 se presentan los resultados de la valoración de los 6 juicios sobre los 17 criterios de evaluación determinados en los métodos internacionales, se observan que no todos los criterios de evaluación fueron compatibles con la realidad local, ya que en algunos casos se cumple con menos de 4 juicios de selección.

En la Figura 1 se aprecian los cuatro criterios seleccionados: consumo máximo, control de consumo de agua y fugas, uso de dispositivos ahorradores y sistemas de reutilización de agua lluvia, los cuales cumplen con todos los juicios de selección. A estos se los agrupa por requerimientos de acuerdo con el consumo, ahorro y reciclaje.

Tabla 1. Juicios para la selección de los criterios de evaluación

Criterios de evaluación	Juicios de selección					
	1	2	3	4	5	6
1. Consumo						
BREEAM						
Contadores de agua	x	x	x	x		x
LEED						
Consumo de agua al interior de la vivienda	x	x	x			x
VERDE						
Consumo de agua en aparatos sanitarios	x	x	x	x	x	x
2. Ahorro						
BREEAM						
Consumo de agua	x	x	x	x	x	x
Sistema de riego	x	x	x	x		x
CASBEE						
Ahorro de agua	x	x	x	x	x	x
LEED						
Landscaping	x	x	x	x	x	x
Ahorro de agua al interior del edificio	x	x	x	x	x	x
Sistema de irrigación	x	x	x	x	x	x
VERDE						
Consumo de agua para riego de jardines	x	x	x	x	x	x
3. Reciclaje						
BREEM						
Reciclaje de agua	x	x	x	x	x	x
Tratamiento sostenible de agua en el emplazamiento					x	x
Recolección de agua lluvia en suelo artificializado	x	x	x	x	x	x
LEED						
Reciclar agua	x	x	x	x	x	x
VERDE						
Retención de aguas lluvias para su reutilización	x	x	x	x	x	x
Recuperación y reutilización de aguas grises	x	x				x
CASBEE						
Reciclaje de agua lluvia	x	x	x	x	x	x

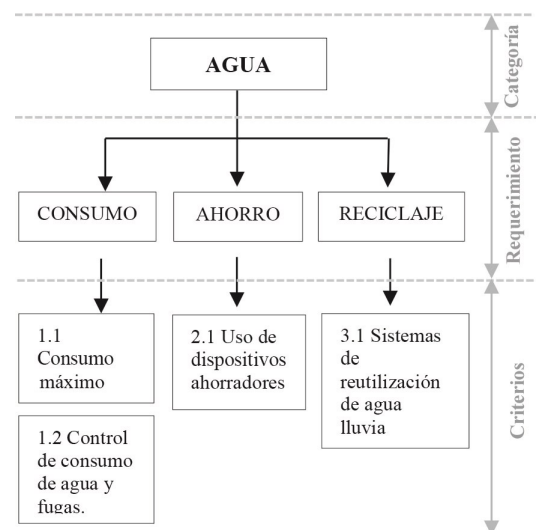


Figura 1. Criterios seleccionados

3.2. Determinación de niveles de valoración

3.2.1. Encuestas a 280 viviendas de la ciudad de Cuenca

Los resultados demuestran que apenas el 24 % de las viviendas aplican alguna estrategia de ahorro de agua potable (Tabla 2).

Tabla 2. Juicios para la selección de los criterios de evaluación

Equipo o dispositivo	Porcentaje
Inodoros ahorradores de agua	6 %
Dispositivos ahorradores en los grifos	2 %
Lavadora de ropa ahorradora de agua	14 %
Lavavajillas ahorradores de agua	0 %
Reutiliza las aguas grises o agua lluvia para el riego del jardín	1 %
Ninguno	76 %
Total	100 %

Además, en la Tabla 3 se muestra que el 61 % de los encuestados considera que el ahorro de agua es importante o muy importante.

Tabla 3. Importancia que tiene una vivienda que ahorre energía y agua; que en su proceso de construcción consume menos recursos o cause un mínimo impacto sobre el medioambiente para los habitantes en la ciudad de Cuenca

Nivel de importancia	Porcentaje
Nada importante	13 %
Poco importante	3 %
Indiferente	23 %
Importante	29 %
Muy importante	32 %
Total	100 %

El 34 % de los encuestados estaría dispuesto a invertir en una vivienda con características de ahorro de agua y energía (Tabla 4).

Tabla 4. ¿Estaría dispuesto a invertir en una vivienda con las características anteriores?

Disposición	Porcentaje
Sí	34 %
No	66 %
Total	100 %

3.2.2. Medición del consumo de agua en 10 viviendas

Resultados de las mediciones

La media aritmética de los resultados de las mediciones en distintos usos de las 10 viviendas se presenta en la Tabla 5. Se observa que el 54,45 % de consumo

de agua potable se debe a usos en sanitarios, lavado de ropa y otros usos como riego de jardines, lavado de patios y autos.

Tabla 5. ¿Estaría dispuesto a invertir en una vivienda con las características anteriores?

Descripción	Media aritmética (l)	Porcentaje %
Total por habitante (l/habitante/día)	179,508	100
Cocina	33,531	18,68
Higiene personal ducha	37,386	20,83
Higiene personal lavabos	10,856	6,05
Sanitarios	50,218	27,98
Lavado de ropa y otros usos como riego de jardines, lavado de patios y autos	47,518	26,47

Resultados de las encuestas

Según los resultados de la media aritmética realizada a los encuestados de las diez viviendas, se determina que utilizan el sanitario 3,3 veces al día (Tabla 6). Este valor de percepción de uso del sanitario está por debajo del uso real que es en promedio 5 veces por día [35], por lo que para la investigación se toman los datos medidos de uso real en las viviendas.

Tabla 6. ¿Cuántas veces utiliza el sanitario al día un miembro de su familia que vive en la vivienda?

Vivienda	Uso de sanitario al día
1	3
2	4
3	4
4	4
5	3
6	2
7	5
8	3
9	4
10	1
Media aritmética	3,3

Ninguna de las viviendas encuestadas dispone de algún sistema para recolectar agua lluvia y 90 % estaría dispuesto a utilizar el agua de lluvia para usos en sanitarios, riego y limpieza (Tabla 7). El monto mensual que estarían dispuestos a invertir en equipos que permitan un uso sustentable de agua se muestra en la Tabla 8.

Tabla 7. ¿Estaría dispuesto a utilizar el agua lluvia en su vivienda para usos en sanitarios, riego y limpieza?

Disponibilidad	Porcentaje
Sí	90
No	10
Total	100

Tabla 8. Monto mensual que estarían dispuestos a invertir en equipos que permitan un uso sustentable de agua

Rango	Porcentaje
De \$0,00 a \$10,00	50
De \$10,00 a \$20,00	30
De \$20,00 a \$50,00	10
De \$50,00 a \$100,00	0
Más de \$100,00	10
Total	100 %

3.2.3. Datos de consumo de agua potable en Cuenca

En la Tabla 9 se presenta el consumo de agua de todas las acometidas domiciliarias de Cuenca durante un año.

Tabla 9. Monto mensual que estarían dispuestos a invertir en equipos que permitan un uso sustentable de agua

Mes	Consumo total (m ³)	Consumo industrial y comercial (m ³)	Consumo residencial (m ³) residenciales	Número de instalaciones
dic-15	2 613 187,00	357 176,00	2 256 011,00	104 392,00
nov-15	2 473 961,00	343 162,40	2 130 798,60	104 171,00
oct-15	2 551 035,00	368 922,00	2 182 113,00	104 041,00
sep-15	2 558 923,00	357 506,80	2 201 416,20	103 956,00
ago-15	2 453 018,00	342 898,40	2 110 119,60	103 493,00
jul-15	2 512 488,00	311 477,40	2 201 010,60	105 028,00
jun-15	2 466 598,00	310 049,10	2 156 548,90	104 482,00
may-15	2 556 930,00	308 137,60	2 248 792,40	104 076,00
abr-15	2 774 639,00	274 218,85	2 500 420,15	103 645,00
mar-15	2 657 568,00	257 141,45	2 400 426,55	103 415,00
feb-15	2 752 265,00	260 831,70	2 491 433,30	98 420,00
ene-15	2 760 075,00	261 616,50	2 498 458,50	103 038,00
Total	31 130 687,00	3 753 138,20	27 377 548,80	1 242 157,00
Media aritmética	2 594 223,92	312 761,52	2 281 462,4	103 513,08

Se observa que la ciudad cuenta con una media aritmética de 103 513 instalaciones domiciliarias residenciales, por otra parte, el total del consumo de agua es 31 130 687,00 m³, donde el consumo de agua residencial representa 27 377 548,80 m³. Si la media aritmética de las instalaciones existentes se multiplica por 3,73 que corresponde al número de habitantes promedio por hogar, según los datos que establece el INEC [34], se obtiene un total de 386 103 personas. Luego si se divide el consumo residencial total para el número de personas servidas y se transforma a días, se determina un promedio de consumo de agua de 194,27 l/habitante/día.

Además, en la Tabla 10 se muestran las variaciones de consumo de agua durante un año de las diez viviendas. La tabla muestra una media aritmética de variación del 15,12 %, lo cual permite deducir que, si la variación es mayor a esta, pueden existir fugas.

Tabla 10. Monto mensual que estarían dispuestos a invertir en equipos que permitan un uso sustentable de agua

Vivienda	Media aritmética consumo (m ³)	Varianza	Desviación estándar	Coefficiente variación en %
1	30,44	23,24	4,82	15,83
2	21,53	62,48	7,9	36,69
3	75,29	96,56	9,83	13,06
4 y 5*	30	10,12	3,18	10,6
6	17,8	1,76	1,33	7,47
7	30,71	21,14	4,6	14,98
8	39,41	23,66	4,86	12,33
9	9,65	2,11	1,45	15,03
10	12,94	1,68	1,3	10,05
Media aritmética				15,12 %

* La vivienda 4 y 5 comparte un medidor general.

3.2.4. Definición de niveles de valoración para cada criterio de evaluación

Con los resultados obtenidos se determinan tres niveles de valoración, un básico, un intermedio y un superior, para cada uno de los cuatro criterios de evaluación definidos en el análisis comparado de métodos internacionales, basado en la investigación de Quesada (2014) [27].

• Criterio de consumo máximo

Nivel básico

La media aritmética del consumo de agua potable por habitante obtenido de la medición de 10 viviendas es de 179,51 l/habitante /día (Tabla 5) y el consumo en la ciudad según los datos de la empresa municipal durante un año es de 194,27 l/habitante/día. Ambos datos son inferiores a la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-11 [21], la cual establece que para viviendas la dotación se puede tomar entre 200 a 350 l/habitante/día.

Por lo tanto, dado que los valores obtenidos en los casos de estudio y de consumo real, están cerca de 200 l/habitante/día, se establece como estándar dentro del nivel básico, a este valor.

Nivel intermedio

Se considera que en las encuestas realizadas a las 280 viviendas existe solo un 6 % que usan sanitarios ahorradores (Tabla 2); en los datos obtenidos de las diez viviendas (Tabla 5), se observa que el uso de agua potable en sanitarios representa un 27,98 % del total del consumo.

Por ello, como nivel intermedio se establece la utilización de sanitarios ahorradores con una descarga de 4,8 litros, y considerando que una persona utiliza el sanitario 5 veces al día, reflejaría un consumo de 24 l/habitante/día en sanitarios.

De esta manera, si se toma el 27,98 % de consumo por sanitarios del valor total de 200 l/habitante/día, se obtiene un consumo de 55,96 l que comparado frente a los 24 l que representa un inodoro ahorrador, se refleja un ahorro de 31,96 l/habitante/día.

A este dato se suman 40 l más de ahorro por la reutilización de aguas lluvias (la justificación de este dato se detalla en el criterio de reutilización de agua), obteniendo finalmente una factibilidad de ahorro de 71,96 l/habitante/día. Por ello, se establece para el nivel intermedio un consumo entre 160 a 120 l/habitante/día.

Nivel superior

Para alcanzar el nivel superior se pide demostrar un consumo de agua potable menor a 120 l/habitante/día por vivienda.

- **Control de consumo de agua y fugas**

Nivel básico

Es necesario establecer un plan de control de fugas, que consiste en el registro de agua consumida, utilizando un medidor al ingreso de la vivienda, el cual permite generar un historial de consumo.

El medidor debe contar con las siguientes características: ser de chorro múltiple y que cumplan con las exigencias metrológicas de las clases A y B de la Resolución 246; 2000 del INMETRO, de las normas MERCOSUR NM 212 e ISO 4064. NTE INEN-OIML R 49-1:2009 [29], [36].

En la Tabla 10 se observa que la media aritmética de variación del consumo es de 15,12 %, por lo que se puede decir que una variación de más del 15 % con respecto a la media aritmética del consumo mensual, es indicador de posibles fugas de agua en la vivienda.

Además, debe darse un mantenimiento adecuado a las instalaciones de agua, a través de un plano que indique el lugar exacto donde se encuentran instaladas las tuberías. Debe cumplirse las normas INEN 1373 requeridas para tubería de PVC, INEN 2955 y 2956 para tubería de termofusión y demás normas para tuberías de agua y accesorios. Cada aparato sanitario debe contar con una llave angular o una llave de paso, con el fin de facilitar el mantenimiento y reemplazo de los equipos [37].

Por lo tanto, se establece dentro del nivel básico, la utilización de tuberías y equipos sanitarios que cumplan las normas antes señaladas, instalados de acuerdo con especificaciones técnicas de cada equipo y accesorio; además, cada equipo debe contar con una llave angular o una llave de paso que facilite su reemplazo y mantenimiento.

También se evalúa la existencia de un plan de gestión, que comprenda:

- un contador de consumo que cumpla las características antes señaladas, y
- un registro mensual que permita detectar posibles fugas.

- **Criterio sobre el uso de dispositivos ahorradores**

Nivel básico

Se define el nivel básico de acuerdo con lo que estipula la norma local NTE INEN 1571:2011 segunda revisión 2011-07, sección 3.1.6.7, para inodoros y sanitarios.

El consumo promedio de agua máximo por descarga a una presión de 0,3 MPA debe ser:

- 6,2 litros por descarga para inodoros de bajo consumo
- 3,8 litros por descarga para urinarios de bajo consumo

Para dispositivos ahorradores como grifos y duchas con aireadores, no existe norma local que establezca un consumo promedio, por lo que se considera los métodos de evaluación:

- Grifos de un caudal máximo menor o igual a 5 / 6 litros a una presión hidráulica de 0,3 MPa.
- Duchas de un caudal máximo menor o igual a 6 / 9 litros a una presión hidráulica de 0,3 MPa.

La presión que ETAPA EP maneja en la ciudad es de servicio continuo alrededor de 0,5 y 0,7 MPa a la salida del medidor de control. Desde el medidor hasta los puntos de abastecimiento, debido a la pérdida de presión por el recorrido, puede alcanzar los 0,3 MPa que se establece para los dispositivos ahorradores.

Del mismo modo, por falta de normativa local sobre el consumo de agua para electrodomésticos se considera a los métodos de evaluación, y se establece para la lavadora un consumo no mayor a 40 / 45 litros por uso y para el lavavajillas no más de 7 / 10 litros por uso.

Nivel intermedio

Para alcanzar el nivel intermedio, además de cumplirse las condiciones del nivel básico, debe disminuirse el consumo de agua en inodoros y urinarios. Los valores que se exigen son tomados de la norma local NTE INEN 1571:2011:

- 4,8 litros por descarga para inodoros de alta eficiencia.
- 1,9 litros por descarga para urinarios de alta eficiencia.

En el caso de inodoros de doble descarga, el consumo de agua máximo debe ser 4,8 litros por descarga en promedio.

Nivel superior

Para el nivel superior, se debe cumplir con las exigencias del nivel intermedio y demostrar un mejoramiento en el ahorro de agua, es decir, emplear aparatos que tengan un consumo menor que los anteriores.

- **Criterio sobre sistemas de reutilización de agua lluvia**

Nivel básico

Se considera que el 61 % de personas de las 280 viviendas cree en la importancia de ahorrar agua potable. Además, en los diez casos de estudio el 90 % de los propietarios estarían dispuestos a utilizar agua de lluvia en aseo de la vivienda, lavado de vehículos y otros usos.

Por lo tanto, se evalúa como nivel básico que la vivienda cuente con un sistema de recolección de aguas lluvias, donde el agua captada pueda ser usada en riego, aseo de la vivienda, lavado de vehículos y sanitarios.

Nivel intermedio

Para determinar un rango de consumo máximo dentro del nivel intermedio, se considera el cálculo de abastecimiento de aguas lluvias que se podría conseguir con la cubierta de un lote mínimo. La fórmula que se aplica es la siguiente [38]:

$$\text{Abastecimiento} = 0,8 \times \text{área efectiva de captación} \times \text{cantidad de lluvia}$$

La media aritmética de área construible en lotes mínimos adosados en el cantón Cuenca, es de 71,17 m² (Tabla 11) según datos tomados del plan de ordenamiento [39], por lo que se establece para el estudio como lote mínimo un área de terreno de 120 m², donde se puede emplazar una edificación continua con retiro frontal y posterior de 3 m, ya que es la tipología de implantación con retiros mínimos en la ciudad. Considerando este lote, se propone una cubierta con una longitud de aleros de 0,6 m respetando los retiros, con lo cual se contaría con un área total de cubierta de 85,4 m².

Tabla 11. Características de lotes mínimos en sectores de tipología continua, tomado del Plan de Ordenamiento del cantón Cuenca

Frente mínimo	Área mínima (m ²)	Retiro frontal (m)	Retiro posterior (m)	Área construible (m ²)
6	75	0	3	57
7	90	3	3	48
7	100	3	3	58
7	120	3	3	78
9	150	5	3	78
9	180	5	3	108
Media aritmética				71,17

En cuanto a la cantidad de agua lluvia, la Tabla 12 evidencia mes a mes la media aritmética de pluviosidad en Cuenca. Estos datos corresponden al registro de los últimos 30 años de la Dirección de Aviación [40]. La media aritmética de pluviosidad por año es de 869,9 mm, lo que significa que puede captarse por cada metro cuadrado de superficie, una cantidad de 869,9 litros de agua de lluvia al año.

Tabla 12. Media aritmética de los resultados mensuales de la pluviosidad en mm/m² en la ciudad de Cuenca de 1977 a 2015. Tomado de la Dirección General de Aviación Civil

Mes	Media aritmética
Enero	62,4 mm
Febrero	85,9 mm
Marzo	113,7 mm
Abril	120 mm
Mayo	85,5 mm
Junio	44,9 mm
Julio	29,8 mm
Agosto	22,3 mm
Septiembre	48,5 mm
Octubre	92,5 mm
Noviembre	84,2 mm
Diciembre	80,5 mm
Total	869,9 mm
Media aritmética	72,49 mm

Aplicando la fórmula, se obtiene para el mes de enero un abastecimiento de 4,26 m³:

$$\begin{aligned} \text{Abastecimiento} &= 0,8 \times 85,4 \text{ m}^2 \times 62,4 \text{ mm} \\ &= 4,26 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

En la Tabla 13, en la columna de abastecimiento parcial, se presentan las cantidades de agua lluvia que se podrían captar mensualmente. En la columna siguiente se muestra la cantidad acumulada por mes y en la última columna se determina la diferencia de captación con respecto al mes anterior. Como se observa, es posible captar un total de 59,45 m³ de agua lluvia al año. Si a este dato se lo divide para 3,73 habitantes por hogar, y se lo convierte a l/habitante/día, se determina que pueden utilizarse 43,66 l/habitante/día de agua lluvia. Por lo que puede establecerse una dotación diaria de agua lluvia de 40 l/habitante/día, este dato corresponde a un 20 % de la demanda total de agua de 200 l/habitante/día, y representa 4,5 m³ de agua que podría usarse para cubrir usos en sanitarios, lavado de ropa y aseo de vivienda.

Si al mismo ejemplo de cubierta mínima, se le incorpora como área de recolección al patio de lavandería y garaje, se incrementaría un área de 21 m² de captación, por lo que se podría incorporar un total de 55 l/habitante/día de agua lluvia.

Por lo tanto, se define para el nivel intermedio que se utilice entre 40 l/habitante/día y 55 l/habitante/día de agua lluvia en usos de lavado de ropa, riego de jardines, aseo de vivienda y uso en sanitarios.

Tabla 13. Cálculo del volumen de captación

Mes	Media aritmética (mm)	Abastecimiento (m ³)		Demanda (m ³)		Diferencia (m ³)
		Parcial	Acumulado	Parcial	Acumulado	
Enero	62,4	4,26	4,26	4,5	4,5	-0,24
Febrero	85,9	5,87	10,13	4,5	9	1,13
Marzo	113,7	7,77	17,9	4,5	13,5	4,4
Abril	120	8,2	26,1	4,5	18	8,1
Mayo	85,5	5,84	31,94	4,5	22,5	9,44
Junio	44,9	3,07	35,01	4,5	27	8,01
Julio	29,8	2,04	37,05	4,5	31,5	5,55
Agosto	22,3	1,52	38,57	4,5	36	2,57
Septiembre	48,5	3,31	41,88	4,5	40,5	1,38
Octubre	92,5	6,32	48,2	4,5	45	3,2
Noviembre	84,2	5,75	53,95	4,5	49,5	4,45
Diciembre	80,5	5,5	59,45	4,5	54	5,45

Nivel superior

Como nivel superior se establece que la vivienda demuestre que cuenta con un sistema de recolección de aguas lluvias, que pueda incorporar una cantidad superior a 55 l/habitante/día en usos de lavado de ropa, riego de jardines, aseo de vivienda y uso en sanitarios.

4. Conclusiones

Se demuestra la posibilidad de reducir el consumo de agua potable hasta un 30 % en viviendas en la ciudad de Cuenca, sin afectar la calidad de vida de sus habitantes, mediante la aplicación de estrategias sustentables.

Proyectando el porcentaje de ahorro en consumo (30 %) a toda la ciudad de Cuenca, el consumo actual de 27 377 549 m³ (Tabla 9) se reduciría a 19 164 284 m³, situación que garantizaría que la infraestructura existente preste el servicio de agua potable por más años de lo que se prevé, evitando costos a corto plazo por nueva infraestructura y los consecuentes daños al ecosistema.

Realizando una valoración económica, un consumo de 200 l/habitante/día (nivel básico) para una vivienda de cuatro habitantes, consume un promedio de 24 m³ a una tarifa de \$0,60 por m³ más \$3,00 de cargo, resulta en un costo de \$17,40. Sin embargo, si se cumplen los requisitos de nivel intermedio de los criterios analizados, se reduciría el consumo en el peor de los casos a 140 l/habitante/día, con lo cual, una familia de cuatro habitantes consumiría un promedio de 16,8 m³, generando un costo de \$9,72, lo cual representa un ahorro de \$7,68 mensuales, equivalente al 44 %.

Finalmente, el presente estudio podría tomarse como referencia para establecer una reducción del estándar de consumo de agua en la norma local, pues se observó que en Cuenca el consumo es de 194,27

l/habitante/día, valor relativamente por debajo del establecido por la norma nacional, y si a esto se suma el ahorro por el uso de inodoros eficientes, tomando en cuenta que el empleo de este tipo de inodoros es cada vez más común, se obtendría un consumo aproximado a 162 l/habitante/día, valor que se encuentra 20 % por debajo de la norma nacional.

Agradecimientos

Se agradece a la Universidad de Cuenca y a su Dirección de Investigación (DIUC) por el financiamiento del proyecto: Certificación Edificio Sustentable y Seguro, del cual forma parte el presente estudio.

Referencias

- [1] A. A. Bohórquez Panche, K. P. Zabaleta Rodríguez, and A. Chávez Porras, "Programa de ahorro y uso eficiente del agua para la empresa Empucol del Municipio El Colegio, Cundinamarca," *Universidad Militar de Nueva Granada*, 1996. [Online]. Available: <https://goo.gl/K3cJ8M>
- [2] UNESCO, "Agua para todos, agua para la vida," Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, 2003. [Online]. Available: <https://goo.gl/wqfjHN>
- [3] ONU, "El derecho humano al agua y al saneamiento," Organización de las Naciones Unidas, 2010. [Online]. Available: <https://goo.gl/mXL8TG>
- [4] J. Frausto Ortega, "Abasto del agua en la frontera norte de Tamaulipas," *Frontera norte*, vol. 28, no. 55, pp. 153–182, 2016. [Online]. Available: <https://goo.gl/NgiVBF>

- [5] J. Morrison, S. L. Postel, and P. Gleick, "Sustainable use of water in the lower colorado river basin," Pacific Institute, 1996. [Online]. Available: <https://goo.gl/Jh4JF7>
- [6] L. E. Cervera Gómez, "Indicadores de uso sustentable del agua en Ciudad Juárez, Chihuahua," *Estudios fronterizos*, vol. 8, no. 16, pp. 9–41, 2007. [Online]. Available: <https://goo.gl/VJDaQo>
- [7] GBC España, "Residencial oficinas. Guía para los evaluadores acreditados. Nueva edificación residencial oficinas," 2015. [Online]. Available: <https://goo.gl/BPNDBZ>
- [8] U.S. Green Building Council, "Leed@for homes rating system multifamily mid-rise | October 2010," in *California Version, 2011 Update*, 2011. [Online]. Available: <https://goo.gl/nMzXX9>
- [9] BRE Global Ltd., *Manual BREEAM es vivienda 2011*, BREEAM Vivienda, 2011. [Online]. Available: <https://goo.gl/DEDQVF>
- [10] V. Corral Verdugo, B. S. Fraijo Sing, and C. Tapia Fonllem, "Un registro observacional del consumo individual de agua: Aplicaciones a la investigación de la conducta sustentable," *Revista mexicana de análisis de la conducta*, vol. 34, no. 1, pp. 79–96, 06 2008. [Online]. Available: <https://goo.gl/ZmdLuX>
- [11] M. C. Bustamante Martínez, K. L. Cárdenas Chalá, and J. L. Corredor Rivera, "Formulación del programa de ahorro y uso eficiente de agua para la empresa de servicios públicos del Municipio Gachetá-Cundinamarca," *Revista Gestión Integral en Ingeniería Neogranadina*, vol. 3, no. 2, 2011. [Online]. Available: <https://goo.gl/gEgNey>
- [12] F. Suárez, J. Santamarta, and A. Suárez, *Hidrología y recursos hídricos en islas y terrenos volcánicos: Métodos, Técnicas y Experiencias en las Islas Canarias*, 05 2013, ch. El transporte hidráulico, pp. 251–263. [Online]. Available: <https://goo.gl/pGi92j>
- [13] P. H. Gleick, D. Haasz, C. Henges-Jeck, V. Srinivasan, K. Kao Cushing, and A. Mann, *Waste Not, Want Not?: The Potential for Urban Water Conservation in California*, E. Pacific Institute for Studies in Development and Security, Eds. Pacific Institute, 2003. [Online]. Available: <https://goo.gl/tyXwQk>
- [14] M. Pacheco Montes, "Avances en la gestión integral del agua lluvia (giall): Contribuciones al consumo sostenible del agua, el caso de Lluviatl en México," *Revista Internancional de Sostenibilidad Tecnología y Humanismo*, no. 3, pp. 39–57, 2008. [Online]. Available: <https://goo.gl/AcsQwi>
- [15] A. Khastagir and N. Jayasuriya, "Optimal sizing of rain water tanks for domestic water conservation," *Journal of Hydrology*, vol. 381, no. 3, pp. 181–188, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.11.040>
- [16] J. Gamboa, "Diseño de una instalación sanitaria automática para ahorro de agua en una batería de baño público institucional," Tesis de grado. Universidad Tecnológica de Pereira. Colombia, 2014. [Online]. Available: <http://hdl.handle.net/11059/5130>
- [17] P. J. Kestler Roja, "Uso, reuso y reciclaje del agua residual en una vivienda," Tesis de grado. Universidad Rafael Landívar. Guatemala, 2004. [Online]. Available: <https://goo.gl/MfSmFg>
- [18] D. G. Manco Silva, J. Guerrero Erazo, and A. M. Ocampo Cruz, "Eficiencia en el consumo de agua de uso residencial," *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, vol. 11, no. 21, pp. 23–38, 2012. [Online]. Available: <https://goo.gl/zXNm1W>
- [19] M. A. Reyes Fillo, J. Lara Ávila, and L. Sánchez, "Tecnología de pruebas de medidores de agua de tipo domiciliario en el IMTA," IMTA. Instituto Mexicano de Tecnología del agua, Tech. Rep. 40, 2010. [Online]. Available: <https://goo.gl/MA48wP>
- [20] G. Howard and J. Bartram, "Domestic water quantity, service level and health," WHO. World Health Organization, Tech. Rep., 2003. [Online]. Available: <https://goo.gl/5hxpGM>
- [21] MIDUVI, *Norma Hidrosanitaria NHE agua*, Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. Ecuador Std., 2011. [Online]. Available: <https://goo.gl/YdmRda>
- [22] ETAPA EP. (2016) Agua potable. Empresa Pública Municipal de Telecomunicaciones, Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Cuenca – Ecuador. [Online]. Available: <https://goo.gl/bch4Mt>
- [23] SENPLADES. (2010) Proyecciones referenciales de población cantonal según años en grupos de edades. Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo. Ecuador. [Online]. Available: <https://goo.gl/fzNeRw>
- [24] B. G. Municipal, *Cuenca. Ciudad sostenible / plan de acción*, Banco Interamericano de Desarrollo. Gobierno Autónomo Descentralizado de la ciudad de Cuenca. Ecuador, 2014. [Online]. Available: <https://goo.gl/vQVkvQ>

- [25] E. Lentini and G. Ferro, *Políticas tarifarias para el logro de los Objetivos de Desarrollo del Milenio y el derecho humano al agua y al saneamiento*, C. C. Económica para América Latina y el Caribe, Ed. Serie. Recursos Naturales e Infraestructura, 2014. [Online]. Available: <https://goo.gl/Kpdxvr>
- [26] JSBC/IBEC. (2010) Comprehensive assessment system for built environment efficiency (casbee). Japan Sustainable Building Consortium. Institute for Building Environment and Energy Conservation. [Online]. Available: <https://goo.gl/V1T4Fg>
- [27] F. Quesada Molina, “Métodos de evaluación sostenible de la vivienda?: Análisis comparativo de cinco métodos internacionales,” *Revista Habitat Sustentable*, vol. 4, no. 1, pp. 56–67, 2014. [Online]. Available: <https://goo.gl/s3evad>
- [28] Elster, *Medidor Unijato Residencial Agua Caliente*, Elster. Vital Connections, 2010. [Online]. Available: <https://goo.gl/KTtA8t>
- [29] ——. Medidor elster m170. Elster Iberconta. [Online]. Available: <https://goo.gl/t71mEX>
- [30] INEN, *Medidores de agua para agua potable fría y agua caliente. Parte 2: Métodos de ensayo*, Instituto Ecuatoriano de Normalización Std., 2016. [Online]. Available: <https://goo.gl/7XH2q5>
- [31] IEOS, *Normas para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes*. Instituto Ecuatoriano de Obras Sanitarias, 1992. [Online]. Available: <https://goo.gl/vo4k67>
- [32] ——. *Norma de diseño para sistemas de abastecimiento de agua potable, disposición de escretas y residuos líquidos en el área rural*. Instituto Ecuatoriano de Obras Sanitarias, 2014. [Online]. Available: <https://goo.gl/y7kG7w>
- [33] A. Jiménez Marín and M. Marín Arias, “Diseño de un programa de uso eficiente y ahorro del agua para el acueducto ‘Asamun’ de la vereda mundo nuevo de la ciudad de Pereira,” Tesis de grado. Universidad Tecnológica de Pereira, 2007. [Online]. Available: <https://goo.gl/uigpq4>
- [34] INEC, “Promedio de personas por hogar a nivel nacional,” Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. Ecuador, Tech. Rep., 2010. [Online]. Available: <https://goo.gl/5SXiUT>
- [35] F. I. Arreguin Cortés, “Uso edficiente del agua,” *Ingeniería Hidráulica en México*, no. 2, pp. 9–22, 1991. [Online]. Available: <https://goo.gl/zCmYxz>
- [36] INEN, *Medidor de agua para agua potable fría y caliente. Parte 1: Requisitos Metrológicos y Técnicos*, Instituto Ecuatoriano de Normalización Std., 2009. [Online]. Available: <https://goo.gl/7XH2q5>
- [37] G. Vázquez Arenas, “Manual de instalaciones de fontanería, evacuación y saneamiento y energía solar en edificación,” Universidad Politécnica de Cartagena, 2011. [Online]. Available: <https://goo.gl/gA4uSL>
- [38] I. Adler, G. Carmona, and J. A. Bojalil, “Manual de captación de aguas de lluvia para centros urbanos,” El portal del agua desde México, 2013. [Online]. Available: <https://goo.gl/zbe3hb>
- [39] GAD Cuenca, “Reforma, actualización, complementación y codificación de la ordenanza que sanciona el plan de ordenamiento territorial del cantón Cuenca: Determinaciones para el uso y ocupación del suelo urbano,” 2003. [Online]. Available: <https://goo.gl/S7rc4f>
- [40] DGAC, “Pluviocidad histórico del cantón Cuenca,” Dirección general de Aviación Civil. Cuenca – Ecuador, 2016.