



## *Análisis del Sistema Gestor para Aguas Pluviales en Empresas Públicas: Caso ETAPA*

### *Analysis of the Management System for Rainwater in Public Companies: ETAPA Case*

### *Análise do Sistema de Gestão de Águas Pluviais em Empresas Públicas: Caso ETAPA*

Manuel Rodrigo Faicán-Pauta<sup>I</sup>

[manuel.faican.67@est.ucacue.edu.ec](mailto:manuel.faican.67@est.ucacue.edu.ec)

<https://orcid.org/0000-0002-6620-698X>

Carlos Matovelle<sup>II</sup>

[cmmatovelleb@ucacue.edu.ec](mailto:cmmatovelleb@ucacue.edu.ec)

<https://orcid.org/0000-0003-2267-0323>

**Correspondencia:** [manuel.faican.67@est.ucacue.edu.ec](mailto:manuel.faican.67@est.ucacue.edu.ec)

Ciencias Técnicas y Aplicadas

Artículo de Investigación

\* **Recibido:** 23 de junio de 2022 \* **Aceptado:** 12 de julio de 2022 \* **Publicado:** 25 de agosto de 2022

- I. Arquitecto por la Universidad Católica de Cuenca. Posgradista en el Programa de Maestría en Construcciones con mención en la Administración de la Construcción Sustentable en la Universidad Católica de Cuenca, Ecuador.
- II. Máster en Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente por la Universidad Politécnica de Valencia. Especialista en Recursos Hídricos y Tratamiento de Agua, Candidato a Doctor por el Centro de Hidrogeología de la Universidad de Málaga, Profesor por 7 años de la Carrera de Ingeniería Ambiental de la Universidad Católica de Cuenca, Coordinador del HYDROLAB del Centro de Investigación, Innovación y Transferencia de Tecnología CIITT. Como Investigador ha sido Director de Proyectos Institucionales e Interinstitucionales que han resultado en publicaciones indexadas y ponencias en varios eventos científicos. Coordinador del Grupo de Investigación en Geo ciencias, Ambiente y Recursos Naturales adscrito al Centro de Investigación de la Unidad Académica de Ingeniería, Industria y Construcción. Tutor científico en el Programa de Maestría en Construcciones con mención en la Administración de la Construcción Sustentable en la Universidad Católica de Cuenca, Ecuador.



## Resumen

La presente investigación realiza un análisis del sistema gestor para las aguas pluviales en empresas públicas, específicamente en el caso ETAPA de la ciudad de Cuenca - Ecuador. Para cumplir con este objetivo, se aplica una metodología cuantitativa y con alcance descriptivo, es decir, se realiza una indagación sobre la situación actual del manejo de indicadores y gestores para las aguas pluviales, mediante una forma numérica para efectuar su caracterización e identificar posibles problemáticas. Se inició, con una revisión literaria relacionada con los sistemas administrativos en el casco urbano para las aguas lluvia, con esta información se establecieron los indicadores necesarios para efectuar la evaluación a ETAPA. Para la recolección de datos, se diseñó un instrumento, el cual fue aplicado a los directivos de esta entidad, que luego fueron analizados con un programa estadístico. Entre los principales resultados obtenidos se menciona los indicadores bajos en cuanto a la caracterización del casco urbano y al marco institucional, y a la gestión para las aguas lluvia. Asimismo, se concluye que la ejecución para los estudios y planificación de estas aguas, no es un eje transversal para la institución, lo que dificulta la implementación en futuros mecanismos de infiltración y aprovechamiento de las aguas lluvias en la ciudad.

**Palabras clave:** Aguas pluviales; Gestión; Indicadores.

## Abstract

The present investigation carries out an analysis of the management system for stormwater in public companies, specifically in the ETAPA case of the city of Cuenca - Ecuador. To meet this objective, a quantitative methodology with a descriptive scope is applied, that is, an inquiry is made about the current situation of the management of indicators and managers for rainwater, through a numerical form to carry out its characterization and identify possible problems. . It began with a literary review related to the administrative systems in the urban area for rainwater, with this information the necessary indicators were established to carry out the evaluation at ETAPA. For data collection, an instrument was designed, which was applied to the directors of this entity, which were then analyzed with a statistical program. Among the main results obtained, the low indicators are mentioned in terms of the characterization of the urban area and

the institutional framework, and the management of rainwater. Likewise, it is concluded that the execution for the studies and planning of these waters is not a transversal axis for the institution, which makes it difficult to implement future mechanisms of infiltration and use of rainwater in the city.

**Keywords:** Rainwater; Management; Indicators.

## Resumo

A presente investigação realiza uma análise do sistema de gestão de águas pluviais em empresas públicas, especificamente no caso ETAPA da cidade de Cuenca - Equador. Para atender a esse objetivo, é aplicada uma metodologia quantitativa com escopo descritivo, ou seja, é feito um inquérito sobre a situação atual da gestão de indicadores e gestores de águas pluviais, por meio de um formulário numérico para realizar sua caracterização e identificar possíveis problemas. . Iniciou-se com uma revisão literária relacionada aos sistemas administrativos na área urbana para águas pluviais, com essas informações foram estabelecidos os indicadores necessários para realizar a avaliação na ETAPA. Para a coleta de dados, foi elaborado um instrumento, que foi aplicado aos dirigentes desta entidade, os quais foram então analisados com um programa estatístico. Entre os principais resultados obtidos, citam-se os baixos indicadores ao nível da caracterização da área urbana e do enquadramento institucional e da gestão das águas pluviais. Da mesma forma, conclui-se que a execução dos estudos e planejamento dessas águas não é um eixo transversal para a instituição, o que dificulta a implementação de futuros mecanismos de infiltração e aproveitamento das águas pluviais na cidade.

**Palavras-chave:** Água da chuva; Gestão; Indicadores.

## Introducción

En el contexto globalizado actual, el manejo de recursos acuíferos ha cobrado gran relevancia en los sistemas de gestión en las ciudades modernas, puesto que este recurso es catalogado como el más crítico para la subsistencia del ser humano, ya que es utilizado para satisfacer diversas necesidades de las actividades antropocéntricas como: la ganadería, agricultura, sistemas sanitarios, sistemas industriales, consumo humano, entre otros (Aguilar et al., 2018; Navalpotro y Pérez, 2018).

Sin embargo, según un reporte realizado por la Organización de las Naciones Unidas (UNESCO) este recurso no es aprovechado de manera sustentable puesto que se espera que a mediados de este siglo, cerca de 700 millones de personas en el mundo en más de 60 países van a experimentar problemas de escases de agua (UNESCO, 2019). Del mismo modo, el crecimiento exponencial de la población, así como la expansión de las ciudades han incrementado la necesidad por este recurso, siendo el uso sustentable y responsable del agua cada vez más relevante para asegurar el modo de vida del siglo XXI (López et al., 2020).

Por otro lado, Cruz et al. (2020) relatan que una forma de solventar estas nuevas necesidades es a través del aprovechamiento de fuentes alternativas de recursos acuíferos como son las aguas pluviales, que es un recurso poco explotado en el mundo, especialmente en países de Latinoamérica.

Según Rahman et al. (2014) el aprovechamiento de aguas pluviales consiste en la captación, almacenamiento o redirección del agua lluvia para su posterior aprovechamiento lo que reduce el consumo del agua en los servicios públicos, representan un ahorro de recursos para la captación de agua en las ciudades y repercute de forma significativa en la huella ambiental de una sociedad. Pese a lo anterior mencionado, según Seguido y Hernández (2017), y Trapote (2016) estas aguas son desaprovechadas, puesto que los sistemas de drenaje de aguas pluviales, por lo general, son captadas por sistemas de alcantarillado que transportan aguas contaminadas de toda la red sanitaria de la comunidad y son desembocadas en acuíferos, ríos, o lagos cercanos, creando una verdadera contaminación y desperdicio de aguas que pudieron ser aprovechadas para diversos usos beneficiosos.

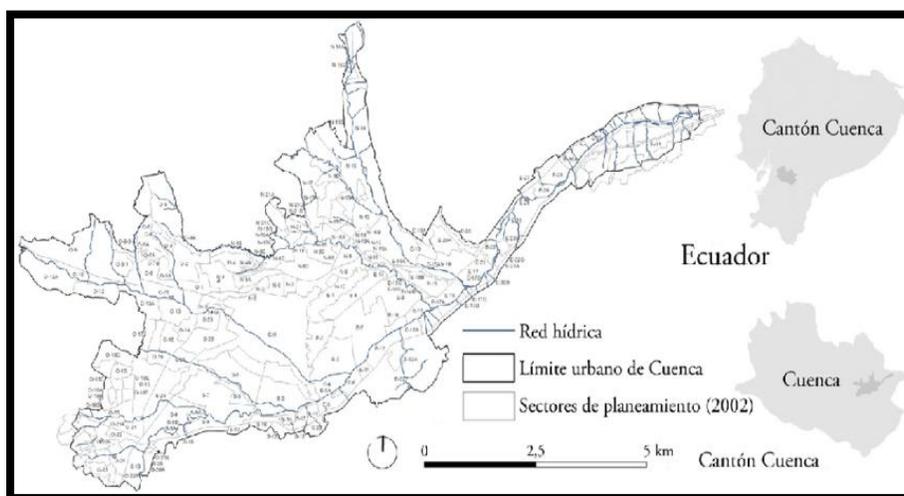
En el mismo orden de ideas, tan solo en Ecuador la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) reporta que el tratamiento de las aguas pluviales e industriales es casi inexistente en este país (apenas un 7%), mientras que las plantas de tratamiento existentes se ubican en el Austro ecuatoriano, porque no se aplican las normas ambientales establecidas por el Ministerio del Ambiente (MA), esto debido a que el agua de la lluvia pasa al alcantarillado, el mismo que desemboca directamente a los ríos. Este problema se intensifica a raíz del crecimiento de las ciudades, pues la misma arrastra residuos sólidos, los cuales suelen acumularse en botaderos, quebradas y cursos de agua, causando grave deterioro al ambiente y a la salud humana (CEPAL, 2014).

Uno de los problemas que agravan la situación anteriormente mencionada, es la falta de implementación de indicadores en la gestión que permitan realizar un uso eficiente de las aguas pluviales, que eviten impactos ambientales negativos en las ciudades y mejoren el estado actual de los recursos hídricos en las urbes (Martínez, 2015), (Bitterman et al., 2016). Por ejemplo, el sistema de gestión de aguas pluviales en Cuenca, cuya competencia se encuentra a cargo de la organización ETAPA, luego de una indagación, se pudo comprobar que, en la actualidad, esta entidad no posee un claro protocolo para el manejo de las aguas lluvia o indicadores que permitan medir su eficiencia.

Por todo lo anterior mencionado, la presente investigación realiza un análisis del sistema de gestión de aguas pluviales en empresas públicas, específicamente en la empresa ETAPA que tiene la competencia para el manejo de los recursos hídricos y gestión de operaciones relacionados con el agua en la ciudad de Cuenca.

Asimismo, con este estudio se pretende determinar indicadores de gestión que permitan realizar un buen manejo y estado de los medios hídricos, mediante la selección y contextualización de indicadores que sean aplicables al área de estudio, con la finalidad de mejorar el ciclo del agua en el entorno urbano de la ciudad de Cuenca, y que el mismo sea la base para una futura intervención que permita garantizar la protección del medio ambiente, en este caso la protección de los recursos hídricos.

**Fuente:** La densidad urbana como variable de análisis de la ciudad.



**Figura 1:** Mapa del límite urbano actual de la ciudad de Cuenca

## Marco teórico

A continuación, se presentan las principales conceptualizaciones y aportes relacionado con los sistemas de gestión de aguas pluviales. En primer lugar, se conceptualizan por qué el aprovechamiento de fuentes alternas de agua es importante para mantener el estilo de vida en las ciudades del siglo XXI, para esto se presentan algunos aportes de la expansión de las áreas urbanas, la importancia del aprovechamiento de nuevas fuentes acuíferas y cuáles son las principales implicaciones de los sistemas de gestión de aguas lluvia para las ciudades.

### Expansión de áreas urbanas

Se puede conceptualizar a la expansión de las áreas urbanas como un proceso metódico y multinivel en la cual, una urbanización se extiende sobre un territorio o área territorial con un ritmo mayor que el crecimiento de su propia población (Bren et al., 2017). Al respecto, González y Aguilar (2021) mencionan que la expansión de las urbanizaciones, intrínsecamente tiene que ver con el desbordamiento de las ciudades hacia su periferia o, dicho de otro modo, hacia sus zonas rurales para continuar expandiéndose, este proceso modifica las periferias y crea nuevas necesidades para las nuevas fronteras de la ciudad.

Según Álvarez et al. (2019) el proceso de expansión de una urbanización se realiza en cuatro etapas, que se mencionan a continuación:

- Etapa de taponamiento: a esta etapa se la conoce como tapón, porque hace referencia al crecimiento desmedido de los pobladores hacia las ciudades principales de un país que logran disminuir considerablemente el espacio libre de sus zonas habitables, el encarecimiento de los pocos espacios disponibles y un incremento considerable de los recursos naturales para mantener las necesidades básicas de sus habitantes.
- Configuración de ensanches urbano: Esta etapa hace referencia a la planificación del crecimiento de la urbanización por su periferia donde se realizan consideraciones futuras sobre los sistemas de abastecimiento de agua, electricidad, calles, escuelas, sistema de transporte entre otros.
- Madurez de la expansión: hace referencia a la materialización de la expansión, donde el primer paso es la apertura de los primeros sistemas viales, sistemas de alcantarillado, instalación de postes de alumbrado público y la segmentación de lotes.

- Consolidación del área urbana; en esta etapa se construyen las viviendas y se comienza la densificación de las calles con los nuevos habitantes.

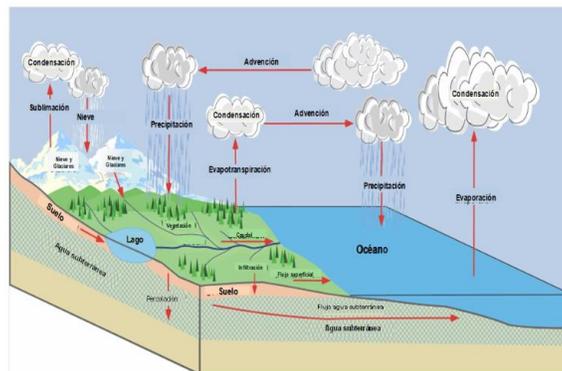
Por otro lado, según las aportaciones presentadas por Winchester (2016) la expansión de las ciudades, además de los evidentes beneficios relacionados con la ampliación del espacio habitable en las ciudades también generan varios inconvenientes como: los nuevos arreglos institucionales que se deben crear y administrar para asegurar que los nuevos asentamientos cuenten con todas las condiciones de vida necesarios para su subsistencia.

La búsqueda y extracción de nuevas fuentes de agua que abastezcan de forma continua e ininterrumpida el suministro del líquido vital a las nuevas áreas y el grado de afectación que tienen las ciudades hacia el equilibrio ambiental de su periferia.

### Ciclo hidrológico

El Ciclo Hidrológico (CH) se puede conceptualizar como la conjugación de procesos naturales que se lleva a cabo en el planeta para el almacenamiento y movimiento del agua a través de la biosfera, atmósfera, litosfera e hidrosfera que conforman el sistema climático de la tierra (Koutsoyiannis, 2020). A continuación, en la figura 2 se muestra el ciclo mencionado.

**Fuente:** (Gobierno Autónomo de Perú, 2022)



**Figura 2:** Ciclo Hidrológico

Como se puede observar en la figura anterior, el ciclo hídrico comienza en la atmósfera que actúa como un almacenamiento del líquido en el planeta que lo distribuye a través de océanos, ríos, lagos, suelos, glaciares, nieve y aguas subterráneas, es decir, se puede conceptualizar a la

atmósfera como un almacén de toda el agua de la tierra: “Los océanos, suministran la mayor parte del agua como producto de la evaporación.

De esta agua evaporada, sólo el 91% es devuelto a las cuencas oceánicas por medio de la precipitación. El 9% restante se transporta a las zonas continentales” (Yang et al., 2021, p.8). En concordancia con lo mencionado, Hobeichi et al. (2022) comenta que el agua contenida en la atmosfera no es estática, por el contrario, se mueve de un lugar a otro constantemente por efectos cíclicos y térmicos que involucran el proceso detallado a continuación en la figura 3.

**Figura 3:** Procesos naturales del ciclo hidrológico

Proceso	Descripción
<b>Evaporación</b>	Es un proceso térmico en el cual, el agua cambia de estado, específicamente de líquido a gaseoso por acción de la radiación solar o energía del subsuelo. Asimismo, esta evaporación, requiere algunas condiciones específicas para que se dé, como que la humedad de la atmosfera debe ser menor a la superficie de evaporación.
<b>Condensación</b>	La condensación se define como un proceso de cambio de la materia, que convierte vapor de agua en un líquido a través de un proceso de enfriamiento que libera energía en forma de calor latente en el medio.
<b>Precipitación</b>	Se define al proceso de precipitación del agua, como el cambio de estado del agua de gaseoso a líquido, que cae en la superficie terrestre de forma meteórica, ya sea en forma de llovizna, lluvia. La precipitación también puede ser de forma sólida como la nieve o el granizo, o como una precipitación oculta como la del rocío o la denominada helada blanca.
<b>Sedimentación</b>	Luego que el agua se precipita en el suelo se mezcla con los compuestos áridos y terrosos del suelo formando una masa homogénea, sin embargo, luego los compuestos sólidos se precipitan en el fondo del agua.
<b>Escorrentía</b>	Este proceso, se da cuando el agua se precipita en áreas capaces de escurrir el líquido hacia redes de drenaje fluvial como los ríos.
<b>Flujo de agua subterránea</b>	Este proceso consiste en el escurrimiento del agua superficial hasta redes depósitos bajo tierra que se transportan a través de grietas, huecos del suelo

arena o rocas y pueden estar contenidos en pozos subterráneos, acuíferos, o una mezcla de agua con sedimentos.
--

**Fuente:** Adaptado de (Hobeichi et al., 2022) y (GAP, 2022)

#### Aprovechamiento de recursos acuíferos alternos

Como se pudo apreciar en la sección anterior, el crecimiento de las urbes hacia su periferia presenta varios desafíos tanto a nivel de gestión, abastecimiento y control. Sin embargo, uno de los problemas más relevantes sigue siendo el subministro de los servicios básicos, como; la electricidad, redes viales para el abastecimiento y las conexiones de agua (Daude et al., 2017).

Respecto a este último Ríos et al. (2021) Menciona que, durante una expansión, las fuentes de agua deben ser uno de los ejes rectores para la planificación en las expansiones, ya que se debe entender que una ampliación del casco urbano es un proyecto a largo plazo, por lo tanto, la densidad de los moradores puede crecer exponencialmente y los recursos hídricos deben abastecer de forma ininterrumpida por un periodo aun mayor de tiempo.

Por otro lado, Tejena y Castro (2022) y Urquieta (2014) mencionan que la expansión de las grandes urbes y el incremento desmedido de la densidad poblacional sobre una misma región, ha provocado verdaderos retos para el abastecimiento de agua en el casco urbano, ya que este líquido es utilizado de diversas maneras en las actividades antropocéntricas de las ciudades que incluyen: actividades agrícolas y ganaderas, limpieza, sector industrial, aplicaciones sanitarias, entre otros. A esto se suma el incremento de la población, ocasionando que se ocupen cada vez más este líquido conforme pasan los años. Lo anterior mencionado, significa que, en un momento dado, los recursos hídricos renovables se verán afectados por la demanda, pudiendo recaer hasta un estrés hídrico considerablemente menor a los valores de seguridad.

Una forma de solventar una posible escasez de las fuentes hídricas renovables en las ciudades a futuro, es a través del aprovechamiento de nuevas fuentes de agua que complementen los recursos ya existentes para crear un sistema sostenible a largo plazo (Serafín, 2019). Al respecto, Correa et al. (2017) menciona que existen dos fuentes alternativas principales para el aprovechamiento de las ciudades que son: el agua del subsuelo y el agua de lluvia.

Con relación al agua del sub suelo, Cerón et al. (2021) comenta que esta fuente de agua tiene condiciones muy específicas para poder ser aprovechado de forma sustentable, ya que no todos

los asentamientos tienen los factores idóneos para la extracción. Sin embargo, el aprovechamiento del agua de lluvia tiene mejores posibilidades para su aplicación en las urbes.

Según Nazif et al. (2021) el aprovechamiento de aguas pluviales hace referencia a la captación y uso de las aguas que resultan de la precipitación, del vapor de agua en el ambiente que no es absorbida por el suelo o evaporada por acción de la radiación solar. Asimismo, Hammes et al. (2020) recalca que el agua de lluvia puede tener diversos usos para los seres humanos, como: usos agrícolas, ganaderos, lavado de vehículos, usos sanitarios, depósitos, usos domésticos, como un sistema complementario al suministro local entre otros. Según Ascanio (2020) el proceso de captación de este recurso puede ser:

- Con el uso de cubiertas de recogidas
- Uso de canalones
- Filtros
- Aljibe
- Bombas de agua
- Sistemas de drenaje

De todos los métodos de recolección de agua lluvia anteriormente mencionados, el más adecuado para su aplicación a gran escala en las urbanizaciones es a través del sistema de drenaje puesto que, según reportes de Melchor et al. (2017), tan solo en Ecuador se pueden recuperar un promedio entre 400 a 2800 litros de agua lluvia por cada metro cuadrado con un sistema de captación construido, que puede ser utilizado con distintos fines, representando un ahorro considerable para la comunidad.

#### Sistema de captación de aguas pluviales

Como ya se mencionó, existen diferentes métodos para la recolección del agua lluvia, sin embargo, para el contexto urbano y como un plan de implementación gubernamental, el más eficiente es a través de sistemas de drenaje que consiste en la construcción de un medio físico e hidrológico dispuesto de manera paralela con los sistemas de alcantarillado para recolectar el agua lluvia de varios tipos de fuentes, ya sea a través de desagües de techo que escurre hacia las calles, corrientes de agua generados por un torrencial, desborde provocados por la lluvia de ríos, lagunas, entre otros (García et al., 2022). A continuación, en la figura 4 se muestra como es el proceso de recolección del agua lluvia en los sistemas de drenaje urbano:

Fuente: (García et al., 2022)

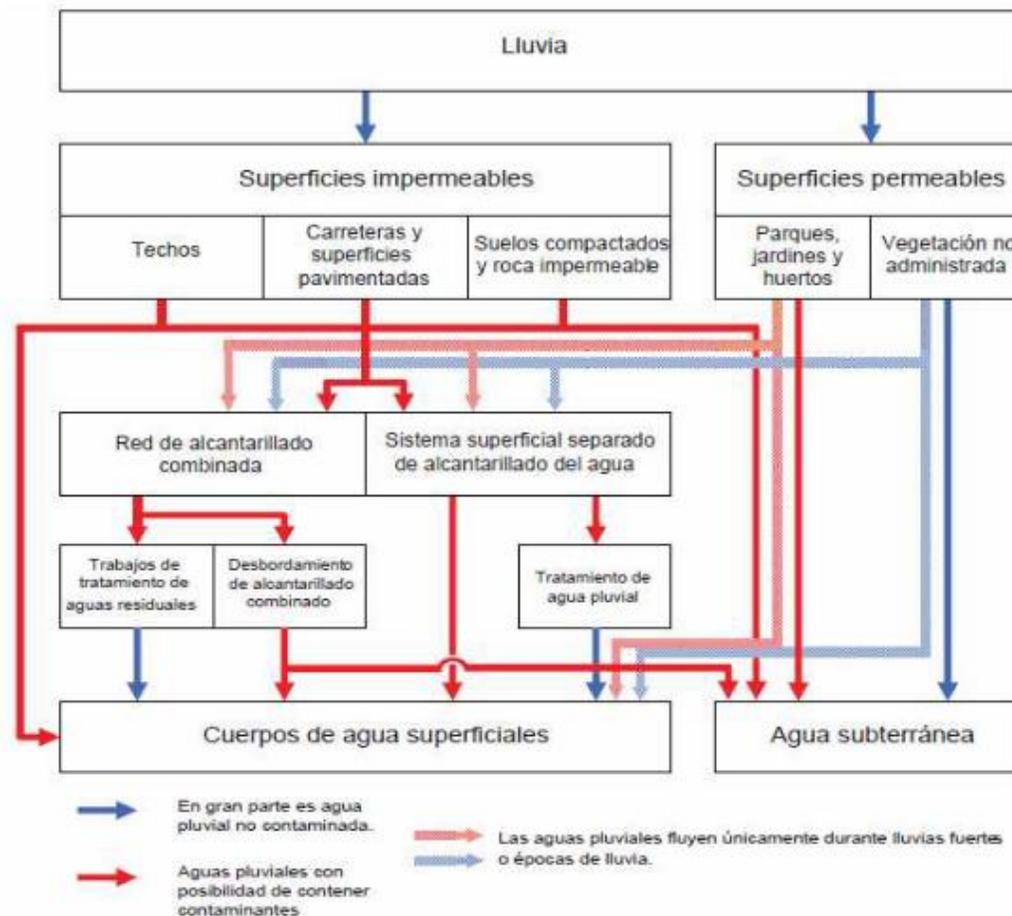


Figura 4: Flujograma para la recolección de agua lluvia

Como se puede apreciar en el flujograma, la recolección inicia con la precipitación del agua lluvia hacia dos tipos de superficies que pueden ser impermeables o permeables. En cuanto a las superficies impermeables se consideran los techo, carreteras y suelos compactados que sirven como medio de transporte para dirigir el agua hacia las redes de tratamiento de agua pluvial y los sistemas combinados de alcantarillado que tienen la función de transportar las aguas residuales y como medio de alivio para los desbordamientos.

Como se puede observar en la figura 4 tanto la red de tratamiento pluvial como el sistema de tratamiento de aguas residuales está compuesta en gran medida por agua pluvial no contaminada que puede ser reingresada hacia los cuerpos de agua superficiales como los ríos, lagos, entre otros. Sin embargo, Las aguas de desbordamientos y los sistemas superficiales separados del

alcantarillado de gwa tienen una alta posibilidad de estar contaminado y son ingresados directamente hacia los cuerpos superficiales de agua.

En cuanto a las superficies permeables, se dividen en dos tipos: el primero, hace referencia a las áreas de parques, jardines, huertos y relacionados; el segundo, lo conforma toda la parte de la vegetación no administrada por los órganos gubernamentales de una población, como bosques, espacios verdes vírgenes, llanos, entre otros. En cuanto a la primera superficie, se puede apreciar en el gráfico que el agua lluvia que se precipita en estos lugares tiene dos posibles destinos que se mencionan a continuación:

- Agua subterránea: este es el destino más probable de las aguas pluviales que se precipitan en parques, jardines y huertos, puesto que la acción absorbente de la tierra redirecciona el líquido hasta su base que puede estar conformado por aguas subterráneas. Este tipo de aguas se consideran contaminadas, por el rose directo con la tierra.
- Red de alcantarillado: cuando la lluvia escala hasta niveles torrenciales o lluvias fuertes, la acción absorbente de la tierra no es suficiente para redirigir el líquido hasta su base, por lo cual, parte de este líquido podría redirigirse hacia sistemas de captación de agua lluvia. Este tipo de fuentes, se consideran contaminadas puesto que estuvieron en contacto directo con la tierra y otros componentes orgánicos e inorgánicos típicos de las áreas verdes administradas por los seres humanos.
- Referente a las aguas pluviales que se precipitan en la vegetación no administrada por las urbanizaciones, tienen tres posibles destinos que se mencionan a continuación:
- Agua subterránea: al igual que las áreas verdes de parques, jardines y huertos, la tierra de la vegetación no administrada actúa como un absorbente, trasladando el líquido hacia su base y a redes de aguas subterráneas.
- Cuerpo de agua superficiales: Cuando la tierra no es capaz de absorber la totalidad de las aguas pluviales, pueden redirigirse hacia cuerpos de aguas superficiales que estén cerca del lugar como ríos, lagos, fuentes, entre otros.
- Red de alcantarillado y sistema superficial de aguas pluviales: al igual que el destino anterior, cuando la tierra no puede absorber el líquido precipitado, este puede redirigirse hacia sistemas de alcantarillado y tratamiento de aguas pluviales que se encuentren cerca del lugar para su transporte hacia los cuerpos de aguas superficiales.

## Gestión de aguas pluviales

Según los aportes realizados por Villegas et al. (2019), Molina (2015) y Villegas et al. (2019) la gestión para un correcto uso y aprovechamiento de las aguas pluviales deben realizarse teniendo en cuenta cuatro factores importantes: La caracterización del casco urbano, la organización administrativa, la presión de la cuenca urbana y ordenamiento del territorio y el marco institucional, el ámbito de la gestión para aguas pluviales. A continuación, se mencionan cada una de ellas:

### a) Caracterización del casco urbano

La caracterización del casco urbano es considerada como uno de los primeros pasos que se deben realizar en los sistemas administrativos, y consiste en determinar el tipo de topografía que tiene la región y los diferentes tipos de suelo, para indagar que sectores o tramos son aptos para implementar los sistemas de captación de las aguas pluviales. A esto, se suma el establecimiento de hidrogramas para la modelización de los eventos de lluvia y la caracterización de la evolución histórica de los sistemas de drenaje como estrategia para prevenir inundaciones y colapso de los sistemas.

### b) Organización administrativa

La organización administrativa, en la recolección de aguas pluviales se puede conceptualizar como un conjunto de estrategias, planificaciones, herramientas y procesos establecidos que están enfocados en la ejecución de actividades relacionadas con la captación de aguas lluvia y se pueden dividir en: implementación de políticas que favorezcan la coordinación interadministrativa e inter competenciales, creación e integración de programas sectoriales, cuantificación de ingresos para el presupuesto de nuevos sistemas de captación y planes de información en participación ciudadana, en cuanto a conciencia ambiental de las aguas lluvia.

### c) Presión de la cuenca urbana y ordenación del territorio

Este factor hace referencia a la implementación de planes de gestión en la determinación del impacto sobre el sistema de drenaje natural y el grado de artificialización del drenaje urbano, la determinación de la presión por contaminantes peligrosos por actividades industriales y transporte, el ordenamiento de la magnitud de la aportación a las cargas de contaminación de la escorrentía urbana por tipología de movilidad y la definición del grado de vulnerabilidad del sistema de saneamiento en relación con los eventos de lluvia.

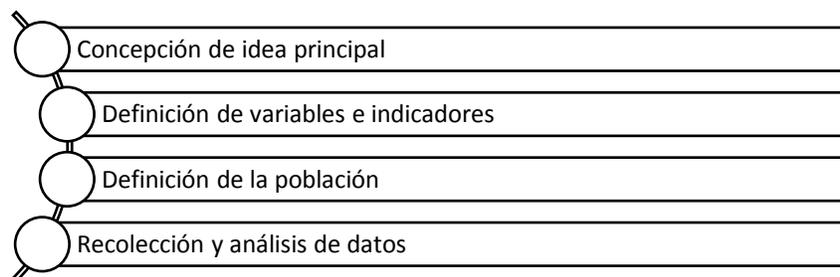
#### d) Marco institucional en el ámbito de la gestión para aguas pluviales

Este factor tiene que ver con la coordinación y la frecuencia con las cuales las entidades públicas realizan reuniones de coordinación intersectorial e inter competencial en la región, para las planificaciones de captación de aguas pluviales, la frecuencia de aplicación de estudios de diversidad de perfiles de los trabajadores de las entidades competentes, la disponibilidad de estudios para determinar el número de entidades involucradas en el proceso de definición del plan de actuaciones para una gestión integral de las aguas de lluvia y la disponibilidad de información suficiente, sobre el número de entidades involucradas en el proceso de definición del plan de actuaciones para una gestión integral de las aguas de lluvia.

### Metodología

La presente investigación, corresponde a una metodología tipo cuantitativo, es decir, se realiza una indagación sobre la situación actual en el manejo de indicadores y gestión de aguas pluviales en la empresa ETAPA de forma numérica, para realizar su caracterización e identificar posibles problemáticas que posteriormente pueden servir a la entidad para mejorar sus procesos administrativos con respecto a los recursos hídricos. Asimismo, el enfoque de esta investigación es de corte descriptivo, puesto que se realiza una representación literaria sobre los hallazgos encontrados. A continuación, en la figura 5 se menciona el método utilizado:

**Fuente:** Adaptado de (Hernández y Mendoza, 2019)



**Figura 5:** Metodología de la Investigación Cuantitativa

En primera instancia, para concebir la idea principal que dio origen a esta investigación, se partió desde una problemática presente en ETAPA, que es la falta de un sistema gestor para aguas lluvia en el casco urbano. Igualmente, se procedió con un análisis bibliográfico relacionado con las principales concepciones sobre el manejo de aguas pluviales y la importancia que tiene una

implementación de sistemas para la gestión sostenible en los principales repositorios digitales e institucionales.

Seguidamente, para la definición de variables e indicadores se procedió a realizar una investigación sistémica de estudios que abordan el manejo administrativo y organizacional de aguas pluviales en cascos urbanos, para determinar los factores que puedan proveer la suficiente información sobre la condición actual del manejo de recursos pluviales en la ciudad de Cuenca. Los indicadores elegidos se muestran a continuación en la tabla 1.

**Figura 6:** Tabla de Indicadores de Gestión de Aguas Pluviales

<b>Variable</b>	<b>Indicador</b>
Gestión de aguas pluviales	Caracterización del casco urbano
	Organización administrativa
	Presión de la cuenca urbana y ordenación del territorio
	Marco institucional en el ámbito de la gestión para aguas pluviales

Una vez se determina la variable de estudio y los indicadores necesarios para medir la gestión de aguas pluviales de ETAPA, se procedió a definir cuáles son los métodos que se utilizará. Esta investigación, se basó en la literatura presentada por Hernández y Mendoza (2019) referente al método cuantitativo. Para cumplir con el método, se desarrolló un instrumento de recolección de datos que fue aplicado a una población de ingenieros que están involucrados en la gestión de agua, la cual consta de cinco ingenieros, quienes fueron el objeto de estudio.

El instrumento, contó con suficientes preguntas que aseguran una indagación completa sobre: caracterización del casco urbano, organización administrativa, presión de la cuenca urbana, ordenación del territorio y marco institucional en el ámbito de la gestión para aguas pluviales.

Luego de aplicar el instrumento, se continúa con el análisis de los resultados obtenidos para identificar las posibles problemáticas en cuanto a la gestión de aguas pluviales. Para esto, se utiliza el programa de análisis estadístico (SPSS), para cálculo de promedios, mínimos, máximos y desviaciones estándar, asimismo, para validar el instrumento utilizado. Se realizó un análisis denominado: “Alfa de Cronbach” que es un coeficiente usado para determinar cuál es la

fiabilidad del test aplicado, en el cual, cualquier valor arriba de 0,70 valida el instrumento y como se puede observar en la figura 6, el coeficiente es de 0,972; por lo tanto, el instrumentó está validado estadísticamente para ser aplicado.

**Nota:** Análisis estadístico determinado en SPSS

Estadísticos de fiabilidad	
Alfa de Cronbach	N de elementos
,972	18

**Figura 7:** Estadístico de Fiabilidad

## Resultados

Luego de validar el instrumento, se calcula la media, desviación típica, mínimos y máximos de los resultados obtenidos por la muestra. A continuación, se presenta un resumen de los resultados en la tabla 2.

**Figura 8:** Medias Estadísticas de los Datos de la Muestra

Pregunta	Media	Desv. Tip.	Mínimo	Máximo
P1	4,40	0,89	3	5
P2	2,80	1,48	1	5
P3	3,40	1,81	1	5
P4	3,40	1,81	1	5
P5	2,80	1,30	1	4
P6	3,40	1,81	1	5
P7	3,20	1,78	1	5
P8	3,40	1,81	1	5
P9	3,80	0,44	3	4
P10	3,40	0,89	3	5
P11	3,20	1,30	1	4

P12	<u>4,00</u>	1,00	3	5
P13	3,20	1,09	2	5
P14	3,40	0,89	2	4
P15	3,00	0,77	2	4
P16	2,60	1,51	1	4
P17	3,00	1,58	1	5
P18	3,40	1,14	2	5

Fuente: Muestra

Como se puede observar en la tabla 2, una gran parte de los indicadores de la variable obtuvieron puntajes promedio, es decir, entre 3 y 4 puntos en la escala de Likert mientras que solo 2 valores (subrayados) obtuvieron un puntaje satisfactorio, concretamente las preguntas P1 y P12 que corresponden a la disponibilidad de mapas topográficos y la efectividad en la determinación de la presión por contaminantes respectivamente.

Por otra parte, hay algunos valores promedios de la encuesta que destacan por sus puntajes bajos, es decir, entre 1 y 3 que corresponden a las preguntas P2, P5, P15, P16, y P17. A continuación en la tabla 3 se muestra un resumen con los indicadores y la descripción a las que pertenecen estas preguntas para facilitar su análisis:

**Figura 9:** Preguntas e Indicadores con los Valores más Bajos de la Encuesta

Indicador	Pregunta	Promedio	Descripción
Caracterización del casco urbano	P2	2,8	Realización de estudios de tipo de suelo para estudiar la potencialidad y limitaciones de la implementación de mecanismos de infiltración de aguas lluvias
	P5	2,8	Realización de estudios periódicos para conocer la vulnerabilidad de la cuenca urbana
Marco institucional en el	P15	2,8	Frecuencia que la entidad realiza reuniones de coordinación intersectorial e

ámbito de la gestión de aguas lluvia			intercompetencial sobre las aguas lluvia
	P16	2,60	Frecuencia que la entidad realiza estudios de diversidad de perfiles de los trabajadores de las entidades competentes
	P17	2,8	Estudio del número de entidades involucradas en el proceso de definición del plan de actuaciones para una gestión integral de las aguas lluvia

Fuente: Muestra

Como se puede apreciar en la tabla anterior, dos variables presentaron indicadores con valores por debajo del promedio, que corresponden a los procesos de caracterización del casco urbano y al marco institucional en cuanto a la gestión de aguas lluvias. Respecto a la primera variable, se puede observar que los indicadores más bajos están relacionados con la ejecución en estudios de suelo en la ciudad de Cuenca, que muestra las limitaciones para la implementación en mecanismos de infiltración para las aguas lluvias. Asimismo, se denota que hay un puntaje bajo al ejecutar estudios para conocer la vulnerabilidad del casco urbano en Cuenca, ante posibles infiltraciones de aguas lluvia.

Por otra parte, se puede observar en la tabla 3, en cuanto al indicador: Marco institucional en el ámbito de la gestión de aguas lluvia, la institución tiene índices bajos en la frecuencia con que se realiza reuniones de coordinación intersectorial sobre el manejo de las aguas lluvias. De igual manera, la frecuencia con que se realizan estudios sobre los perfiles de trabajadores en las entidades competentes, obtuvo una valoración insatisfactoria.

Para la realización de estudios, el número de entidades involucradas en el proceso para la definición del plan de actuaciones para una gestión integral de las aguas pluviales, el instrumento revela un promedio insatisfactorio.

## Discusión

A través del análisis de sistema gestor para aguas pluviales en la empresa pública ETAPA, se logró identificar que la ejecución de estudios y planificación para las aguas pluviales, no es un eje transversal de la institución, lo que dificulta que se use esta información como estrategia y

respaldar futuros proyectos para la implementación de mecanismos de infiltración y aprovechamiento para las aguas lluvias en la ciudad de Cuenca. De esta manera, el sistema organizativo y gestor de la entidad debe ser reforzado, ya que no se realizan de forma oportuna las coordinaciones adecuadas entre las entidades involucradas en el tratamiento integral de aguas pluviales.

Lo anterior mencionado se puede corroborar con la información que presenta ETAPA (2022) en su página oficial, quienes mencionan que en la actualidad, esta entidad no posee un sistema dedicado al aprovechamiento de aguas pluviales o de una red de alcantarillado alterno de captación de aguas lluvia dentro del casco urbano.

De igual manera, la investigación de Pauta et al. (2019) corrobora que la administración de los sistemas de gestión de la ciudad no contempla la ejecución de proyectos para implementar sistemas de tratamiento de aguas lluvia, lo que provoca que las aguas pluviales sean trasladadas hacia ríos y vertientes, provocando desbordamientos y contaminación en fuentes acuíferas.

Por otro lado, según los aportes realizados por Correa (2016), la ciudad de Cuenca tienen en la actualidad una expansión deficientemente controlada que causa varias problemáticas a nivel económico y de degradación medioambiental provocado por un insuficiente plan de crecimiento urbano, lo cual, puede acarrear varios problemas en el futuro para la implementación de un adecuado sistema de abastecimiento de agua para los nuevos y actuales asentamientos dentro de la urbe que asegure un servicio ininterrumpido a los hogares de los cuencanos, por lo cual, una posible solución preventiva para este escenario sería la gestión de las aguas pluviales como un método alternativo y complementario para la captación y distribución de agua en la ciudad.

En otro orden de ideas, en base a lo mencionado por Casas y Malagón (2019) el aprovechamiento de las aguas pluviales y los recursos hídricos alternativos se han convertido en un proyecto con visión a futuro que puede solventar los nuevos requerimientos de agua provocados por la expansión de las ciudades y fomenta la creación de sistemas sostenibles a largo plazo. Igualmente, la ciudad de Cuenca, por sus condiciones climáticas, niveles de precipitación al año puede ser un pionero para el país en la implementación de este tipo de sistemas de captación.

## **Conclusiones**

A través de la bibliografía, se pudo evidenciar que, debido al crecimiento exponencial de la población se ha incrementado la necesidad por los recursos acuíferos, los sistemas de gestión del

agua deben asegurar un uso sustentable y responsable del mismo para mantener el estilo de vida del siglo XXI. Además, se debe asegurar el establecimiento de indicadores en los sistemas de gestión que permitan realizar un uso eficiente de las aguas pluviales que eviten impactos ambientales negativos en las ciudades y mejoren el estado actual de los recursos hídricos de las urbes.

Se analizó el sistema de gestión para las aguas pluviales en ETAPA y se pudo evidenciar que, en la actualidad la entidad no ejecuta las planificaciones o estudios necesarios dentro del casco urbano, para fomentar la implementación en sistemas para la captación de aguas pluviales como proyectos futuros.

También, se logró identificar que el sistema gestor que implementa, pese a tener aspectos positivos, aún debe mejorar el control de las entidades involucradas en el proceso de definición para el plan de actuaciones en una gestión integral en las aguas pluviales, verificación en la diversidad de perfiles en trabajadores institucionales y la frecuencia con la que se realizan reuniones para la coordinación intersectorial e Inter competencial sobre las aguas lluvia.

### **Agradecimiento**

El presente artículo es parte del trabajo de investigación y titulación del Programa de Maestría en “Construcción con Mención en Administración de la Construcción Sustentable” de la Universidad Católica de Cuenca, vinculados al Proyecto de Investigación: INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD URBANA PARA LA CIUDAD DE CUENCA – ECUADOR, por ello agradecemos a todos y cada uno de los instructores pertenecientes a los grupos de investigación; Ciudad, Ambiente y Tecnología (CAT), y Sistemas embebidos y visión artificial en ciencias, Arquitectónicas, Agropecuarias, Ambientales y Automática (SEVA4CA), por los conocimientos e información brindados para la elaboración del trabajo.

### **Referencias**

1. Aguilar Barajas, I., Mahlkecht, J., Kaledin, J., Kjellén, M., y Mejía Betancourt, A. (Eds.). (2018). *Agua y ciudades en América Latina: Retos para el desarrollo sostenible*. Inter-American Development Bank. <https://doi.org/10.18235/0001107>

2. Alvarez-Palau, E. J., Martí-Henneberg, J., y Solanas-Jiménez, J. (2019). Urban Growth and Long-Term Transformations in Spanish Cities Since the Mid-Nineteenth Century: A Methodology to Determine Changes in Urban Density. *Sustainability*, 11(24), 6948. <https://doi.org/10.3390/su11246948>
3. Ascanio, A. (2020). *ANÁLISIS DEL APROVECHAMIENTO DEL AGUA LLUVIA PARA USO*.
4. Bitterman, P., Tate, E., Van Meter, K. J., y Basu, N. B. (2016). Water security and rainwater harvesting: A conceptual framework and candidate indicators. *Applied Geography*, 76, 75-84. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2016.09.013>
5. Bren d'Amour, C., Reitsma, F., Baiocchi, G., Barthel, S., Güneralp, B., Erb, K.-H., Haberl, H., Creutzig, F., y Seto, K. C. (2017). Future urban land expansion and implications for global croplands. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(34), 8939-8944. <https://doi.org/10.1073/pnas.1606036114>
6. Casas-Matiz, E.-I., y Malagón-Micán, M.-L. (2019). Manejo del agua lluvia en el campus de la Universidad de América. *Gestión y Ambiente*, 22(1), 9-17. <https://doi.org/10.15446/ga.v22n1.75334>
7. Cerón, L. M., Sarria, J. D., Torres, J. S., Soto-Paz, J., Cerón, L. M., Sarria, J. D., Torres, J. S., y Soto-Paz, J. (2021). Agua subterránea: Tendencias y desarrollo científico. *Información tecnológica*, 32(1), 47-56. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642021000100047>
8. Correa, J. E. E., Monteros, C. A. S. de la S., Urgilés, F. L. E., y Barreto, F. G. G. (2017). Sistema de captación de agua de lluvia para uso doméstico en la Isla Jambelí, cantón Santa Rosa. *Cumbres*, 3(1), 151-159.
9. Correa, M. E. D. (2016). Análisis crítico de la planificación urbana de la Ciudad de Cuenca. *Maskana*, 7(1), 107-122. <https://doi.org/10.18537/mskn.07.01.11>
10. Cruz, A. O. D. L., Chavez, C. R. A., y Llano, D. C. O. (2020). Drenaje pluvial sostenible. Una alternativa de gestión del agua de lluvia en la Universidad de Sonora. *CONTEXTO. Revista de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Autónoma de Nuevo León*, 14(20), Article 20. <https://doi.org/10.29105/contexto14.20-4>
11. Daude, C., Fajardo, G., Brassiolo, P., Estrada, R., Goytia, C., Sanguinetti, P., Álvarez, F., y Vargas, J. (2017). *RED 2017. Crecimiento urbano y acceso a oportunidades: Un*

- desafío para América Latina.* CAF.  
<https://cafscioteqa.azurewebsites.net/handle/123456789/1090>
12. ETAPA. (2022). *ETAPA EP - Servicios de Telefonía, Televisión, Internet, Agua Potable, Alcantarillado de Cuenca—Ecuador > Información > Saneamiento > Colectores e interceptores.* <https://www.etapa.net.ec/informacion/saneamiento/colectores-e-interceptores>
  13. García, E., Ibáñez, M., y Mosqueira, G. (2022). *Análisis crítico de la problemática y las soluciones adoptadas a nivel europeo en la gestión de las aguas pluviales en entornos urbanos. Posibles aplicaciones en España—Repositorio Institucional de Documentos.* <https://zagan.unizar.es/record/9431/?ln=es>
  14. Gobierno Autónomo de Peru. (2022). *Cartilla Técnica.* <https://isbn.cloud/9789972602771/cartilla-tecnica-ciclo-hidrologico/>
  15. González, J. A. R., y Aguilar, A. G. (2021). Expansión urbana irregular, cambio de uso del suelo y deterioro ambiental en la periferia norte de la Zona Metropolitana Puebla-Tlaxcala: El caso del Parque Nacional La Malinche. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 30(2), 441-458. <https://doi.org/10.15446/rcdg.v30n2.89849>
  16. Hammes, G., Ghisi, E., y Padilha Thives, L. (2020). Water end-uses and rainwater harvesting: A case study in Brazil. *Urban Water Journal*, 17(2), 177-183. <https://doi.org/10.1080/1573062X.2020.1748663>
  17. Hernández, R., y Mendoza, C. (2019). *Hernández-Sampieri, R. y Mendoza, C (2018). Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta | RUDICS.* <https://virtual.cuautitlan.unam.mx/rudics/?p=2612>
  18. Hobeichi, S., Abramowitz, G., Ukkola, A. M., De Kauwe, M., Pitman, A., Evans, J. P., y Beck, H. (2022). Reconciling historical changes in the hydrological cycle over land. *Npj Climate and Atmospheric Science*, 5(1), 1-9. <https://doi.org/10.1038/s41612-022-00240-y>
  19. Koutsoyiannis, D. (2020). Revisiting the global hydrological cycle: Is it intensifying? *Hydrology and Earth System Sciences*, 24(8), 3899-3932. <https://doi.org/10.5194/hess-24-3899-2020>
  20. López Machado, N. A., Domínguez Gonzalez, C. G., Barreto, W., Méndez, N., López Machado, L. J., Soria Pugo, M. G., Lizano, R., Montesinos, V., López Machado, N. A., Domínguez Gonzalez, C. G., Barreto, W., Méndez, N., López Machado, L. J., Soria Pugo,

- M. G., Lizano, R., y Montesinos, V. (2020). Almacenamiento de agua de lluvia en medios urbanos utilizando techos verdes. *LA GRANJA. Revista de Ciencias de la Vida*, 32(2), 54-71. <https://doi.org/10.17163/lgr.n32.2020.05>
21. Martínez, L. S. (2015). *Indicadores de sostenibilidad de la gestión integral de las aguas de lluvia en los entornos urbanos: Aplicación a la ciudad de Zaragoza* [Http://purl.org/dc/dcmitype/Text, Universidad Politécnica de Madrid]. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=119435>
22. Melchor, M. F. C., Cacho, C. E. H., Vidal, C. I. G., y Zarate, R. A. V. (2017). Captación y aprovechamiento del agua de lluvia. *Kuxulkab'*, 17(33), Article 33. <https://doi.org/10.19136/kuxulkab.a17n33.366>
23. Molina-Prieto, L. F. (2015). Gestión urbana del recurso pluvial: Estrategias, políticas y normativa urbana en cinco países europeos. *Revista de Investigación*, 8(1), 125-138. <https://doi.org/10.29097/2011-639X.16>
24. Navalpotro, J. A. S., y Pérez, M. S. (2018). Consumo de agua y «Huella Hídrica» de las ciudades españolas. *Estudios Geográficos*, 79(284), 115-140. <https://doi.org/10.3989/estgeogr.201805>
25. Nazif, S., Tavakolifar, H., Abbasizadeh, H., y Eslamian, S. (2021). Comparing Rainwater Storage Options. En *Handbook of Water Harvesting and Conservation* (pp. 385-399). John Wiley y Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781119478911.ch25>
26. Pauta-Calle, G., Velazco, M., Gutierrez, D., Vázquez, G., Rivera, S., Morales, O., y Abril, A. (2019). Evaluación de la calidad del agua de los ríos de la ciudad de Cuenca, Ecuador. *Maskana*, 10(2), 76-88. <https://doi.org/10.18537/mskn.10.02.08>
27. Rahman, S., Khan, M. T. R., Akib, S., Din, N. B. C., Biswas, S. K., y Shirazi, S. M. (2014). Sustainability of Rainwater Harvesting System in terms of Water Quality. *The Scientific World Journal*, 2014, e721357. <https://doi.org/10.1155/2014/721357>
28. Ríos-Sánchez, K. I., Sánchez, E. M. O., Santillan, Y. M., Ramírez, C. A. G., y Flores, M. de la L. H. (2021). Expansión urbana descontrolada: ¿Qué pasará con el agua? *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI*, 8(16), 54-59. <https://doi.org/10.29057/icbi.v8i16.5778>

29. Seguido, Á. F. M., y Hernández, M. H. (2017). El uso de aguas pluviales en la ciudad de Alicante. De viejas ideas a nuevos enfoques. *Papeles de Geografía*, 7-25. <https://doi.org/10.6018/geografia/2017/279451>
30. Serafín, Y. (2019). Aprovechamiento alternativo y sostenible de los recursos hídricos de Caracas. *Terra. Nueva Etapa*, XXXV(57). <https://www.redalyc.org/journal/721/72163802003/>
31. Tejena-Zambrano, M. J., y Castro-Mero, J. L. (2022). La ciudad compacta y diversa frente a los desafíos de los objetivos de desarrollo sostenible. Caso Manta. *Dominio de las Ciencias*, 8(1), 1097-1116. <https://doi.org/10.23857/dc.v8i1.2625>
32. Trapote, A. (2016). *Gestión de las aguas pluviales en entornos urbanos mediante técnicas de Drenaje Sostenible*. <https://doi.org/10.22507/jet.v5n2a1>
33. UNESCO. (2019). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2019: No dejar a nadie atrás*. UNHCR. [https://www.acnur.org/publications/pub\\_sal/5c93e4c34/informe-mundial-de-las-naciones-unidas-sobre-el-desarrollo-de-los-recursos.html](https://www.acnur.org/publications/pub_sal/5c93e4c34/informe-mundial-de-las-naciones-unidas-sobre-el-desarrollo-de-los-recursos.html)
34. Urquieta C., P. (2014). Los desafíos de las ciudades vulnerables. Construcción de ciudad y construcción del riesgo en La Paz y El Alto. *Bulletin de l'Institut français d'études andines*, 43 (3), 445-462. <https://doi.org/10.4000/bifea.5906>
35. Villegas-Rodríguez, E., Sandoval-Betancour, G., Casas-Matiz, E. I., Cortés -Cely, O. A., y Molina-Prieto, L. F. (2019). Gestión estratégica del recurso pluvial urbano: Condición actual en Colombia. *Cuadernos de Vivienda y Urbanismo*, 12(24), Article 24. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.cvu12-24.gerp>
36. Winchester, L. (2016). Desafíos para el desarrollo sostenible de las ciudades en América Latina y El Caribe. *EURE (Santiago)*, 32(96), 7-25. <https://doi.org/10.4067/S0250-71612006000200002>
37. Yang, D., Yang, Y., y Xia, J. (2021). Hydrological cycle and water resources in a changing world: A review. *Geography and Sustainability*, 2(2), 115-122. <https://doi.org/10.1016/j.geosus.2021.05.003>

© 2022 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).