

Sistemas de captación y almacenamiento de agua alternativos desde la perspectiva del metabolismo social, Quibdó, Colombia

Alternative water collection and storage systems from the perspective of social metabolism, Quibdó, Colombia

Carlos Alberto Torres Chamat*^{id} y Tito Morales Pinzón**^{id}

Resumen: El metabolismo social estudia la relación de intercambio entre los sistemas social y natural, lo que permite analizar la sustentabilidad de los recursos naturales, en particular del agua, la cual tiene una fuerte relación determinada por la sociedad y la naturaleza, razón por la cual los grupos poblacionales tienen un peso significativo en la modificación o cambios que determinan el consumo y transformación de energía y materiales dentro del territorio. Los sistemas de captación y almacenamiento de agua alternativos son de importancia debido a que permiten la autogestión y se convierten en una necesidad en muchas regiones del mundo. Esta investigación buscó caracterizar los sistemas de captación y almacenamiento de agua lluvias presentes en la ciudad de Quibdó, en las áreas no conectada al sistema de acueducto, con relación al metabolismo social, utilizando una metodología de enfoque mixto, con técnicas cualitativas y recolección de información cuantitativa, se realizaron visitas a 150 viviendas, donde se evidenció los sistemas de almacenamientos y las estructuras para el almacenamiento del agua, de estas el 41,8% fueron tanques elevados, el 40,2% en tanques bajos. Se encontró un consumo promedio de agua de lluvia en un hogar de 500 L/día, utilizados en usos potables (preparación de alimentos, hidratación y atención a bebés y niños) y usos no potables enfocados principalmente en aseo (personal, vivienda, lavado de ropa); dependiendo de la capacidad de almacenamiento de agua que posea la vivienda, puede durar entre uno a cinco días sin precipitación de lluvias, sin embargo, en temporadas de lluvias hay una recarga constante de los sistemas de almacenamiento lo que evita la carencia del agua.

Palabras clave: Metabolismo social, Recurso hídrico, Agua lluvia, Captación de agua de lluvia, RWH.

Abstract: Social metabolism studies the exchange relationship between the social and natural systems, which allows analyzing the sustainability of natural resources, particularly water, which has a strong relationship determined by society and nature, which is why Population groups have a significant weight in the modification or changes that determine the consumption and transformation of energy and materials within the territory. Alternative water collection and storage systems are important because they allow self-management and are becoming a necessity in many regions of the world. This research aims at characterizing the rainwater collection and storage systems presented in the city of Quibdó, in areas not connected to the aqueduct system, in relation to social metabolism, using a mixed approach methodology with qualitative techniques and data collection. Quantitative visits were made to 150 homes, where storage systems and structures for water storage were evidenced. Out of these, 41.8% were elevated tanks, and 40.2% were low tanks. An average consumption of rainwater in a home of 500 L per day was found, used for potable uses (food preparation, hydration, and care for babies and children) and non-potable uses focused mainly on cleaning (personal, housing, washing clothing); Depending on the water storage capacity of the house, it can last between one and five days without rain; however, when rainy seasons there is a constant recharge of the storage systems, which prevents water shortages.

Keywords: Social metabolism, Water resources, Rainwater, Rainwater harvesting, RWH.

Artículo de investigación / Research article

Cómo citar este artículo: Torres, C. y Morales, T. (2022). Sistemas de captación y almacenamiento de agua alternativos desde la perspectiva del metabolismo social, Quibdó, Colombia. *Jangwa Pana*, 21(3), 1-13. doi: <https://doi.org/10.21676/16574923.4785>

Recibido: 26/08/2022 | **Aceptado:** 13/12/2022 | **Disponible en línea:** 16/12/2022

1 * Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia – Correo: c.torres1@utp.edu.co – ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4773-2164>

** Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia – Correo: tito@utp.edu.co – ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3156-2252>

Introducción

Los procesos naturales que relacionan al ser humano y su incidencia en el ambiente determinan la manera de interactuar con la naturaleza, la asimilación de los procesos naturales cada día pierde validez acorde a las dinámicas de transformación de los recursos naturales, la adaptación a los nuevos conceptos de territorio y las transiciones socio ecológicas.

Las dinámicas demográficas generadoras de la expansión urbana y ocupación del suelo se convierten en los primeros elementos que se relacionan a los problemas urbano-ambientales, aquellos que establecen la resiliencia de las ciudades y con ello, problemas sociales y económicos, aspectos representativos en los modelos de ciudades incluyentes y sostenibles (Zhou et al., 2019). Por otra parte, el recurso hídrico ha sido determinante de la localización y consolidación de los centros poblados en el Pacífico colombiano, la adaptación del territorio ha obedecido a la diversidad de actores, factores sociales y económicos que han permitido el poblamiento de la región Pacífica (Romero, 2017).

El metabolismo social es un marco integrador interdisciplinario de carácter socio ecológico, que combina sistemas socio-ecológicos-técnicos complejos y el pensamiento socio espacial a diferentes escalas temporales sobre la planificación espacial estratégica de una ciudad o una región con base a los recursos naturales disponibles, el cual vincula las visiones del territorio como un ecosistema extendiendo los impactos al papel de los recursos, actores sociales y el medio ambiente (Webb et al., 2018).

El metabolismo comienza cuando seres humanos socialmente agrupados utilizan materiales y energía tomadas de la naturaleza como insumos y termina cuando son eliminadas en forma de desechos, residuos o emisiones, no obstante, existen fases intermedias las cuales transforma, transporta y se utilizan estos flujos de materiales y energía, por lo cual se identifica cinco funciones que se presentan en el metabolismo social: apropiación, transformación, circulación, consumo y excreción, que están condicionados por la dimensión tangible que incluye los procesos básicos relacionados con la extracción, transformación y uso de los recursos naturales, así como la generación de residuos y los aspectos socioeconómicos, culturales, imaginarios, leyes,

instituciones, conocimiento, política, gobernanza y la percepción de los habitantes (Toledo, 2013).

Lo que en definitiva puede modificar la demanda y la aceleración de las tasas de consumo (Rodríguez-Huerta et al., 2019). Igualmente, es un proceso, donde los cambios en cantidad y calidad ocurren condicionados por la naturaleza y para el metabolismo del recurso hídrico, se basa en la relación oferta y demanda, el tamaño de los sectores productivos y los sistemas de reutilización con infraestructuras (Rodríguez-Huerta et al., 2019). Por otra parte, se considera al metabolismo social como un enfoque que tiene por finalidad el estudio de las relaciones de intercambio entre el sistema natural y el sistema social, basados en el flujo de materias primas, combustible, agua, nitrógeno, biomasa y desechos que requieren de una cuantificación de las entradas, salidas y almacenamiento que está condicionado a los procesos socioeconómicos, la tecnología, la geografía, la institucionalidad y los ecosistemas (Maranghi et al., 2020).

Las relaciones de los grupos sociales sobre los sistemas naturales tienen un peso significativo en la modificación y cambios que pueden incrementar o no el consumo de materiales y la transformación del recurso, lo que implica un enfoque complejo e interdisciplinario, debido a que integra una gama variada de métodos provenientes de las ciencias naturales y las ciencias sociales (Haberl et al., 2019)

Sin embargo, el metabolismo social ha sido abordado como una herramienta para la sostenibilidad basados en los ecosistemas, un equilibrio dinámico y la manera en que estos pueden mantenerse, regularse y reproducirse, sin la interacción de los sistemas humanos (Toledo & Gonzales de Molina, 2011), lo que permite armonizar el aprovechamiento de los recursos naturales sin que esto genere un agotamiento, por otra parte, el sistema económico lo considera, como un sistema abierto que se basa en ciclos de entradas y salidas de materiales o flujos de energía.

A partir de la situación actual que viven los territorios como el Chocó, es necesario contar con enfoques diferenciales, que permitan conocer la realidad del territorio, la evolución del mismo permitiendo el análisis de relación sociedad-naturaleza, que pueda ser aplicable a las condiciones históricas y que permita la retroalimentación entre los sistemas naturales y sociales

para brindar alternativas de solución a la utilización y gestión de los recursos naturales (Fischer-kowalski & Weisz, 1999), es por eso, que se hace necesario caracterizar los sistemas de captación y almacenamiento que los habitantes de Quibdó han desarrollado como sistemas alternativos a la carencia de red de acueducto, pero basados en la favorabilidad de las condiciones climáticas, el territorio, la cultura, convirtiendo así a la ciudad en resiliente.

Las principales fuentes de abastecimiento de agua urbana proceden de aguas superficiales, subterráneas, pluviales y marinas de ecosistemas circundantes (Lv et al., 2020), el aumento demográfico, urbanístico y los impactos ambientales que genera el crecimiento económico y el usufructo de los recursos naturales en el ambiente, hacen necesario encontrar sistemas alternativos a la gestión y planificación del agua urbana (Serrao-neumann et al., 2019), por este motivo se ha incursionado en el aprovechamiento del agua en diversas formas y estado, como la desalinización y la recolección y aprovechamiento de agua lluvia y la inclusión de una política pública y las perspectivas de gestión del recurso hídrico (Nandi & Gonela, 2022).

Las aguas superficiales, subterráneas o marítimas pueden ser costosas para su tratamiento y almacenamiento, en Asia (India, China e Irán) y África presentan un deterioro y contaminación debido al bombeo excesivo (Wandiga et al., 2021), sin embargo, el agua de lluvia se considera una alternativa, confiable y económica para áreas que presentan condiciones climáticas apropiadas para realizar este aprovechamiento (Jalili & Jalili, 2020). Asimismo, los sistemas alternativos tienen impactos ambientales en la reducción de la demanda de los servicios de agua potable, alcantarillado, disminución de la escorrentía, conservación del recurso hídrico (Richards et al., 2021) y un mecanismo de adaptación al cambio climático (Kisakye & Bruggen, 2018).

Un sistema típico de recolección de agua lluvia consiste en el agua que cae sobre una superficie (techo, piso o zanjas), posteriormente se recolecta a través de sistemas de conducción los cuales direccionan hacia un contenedor de almacenamiento (Richards et al., 2021). Sobre el aprovechamiento del agua lluvia en los sistemas de abastecimiento, existe una amplia literatura, en Brasil se ha utilizado en varias regiones como la región metropolitana de Recife (Calvacante et al., 2022), para el

Sur de Asia es apto este sistema de aprovechamiento de agua lluvia para las regiones de Bangladesh, Sri Lanka, cordillera del Himalaya, noreste, centro de Asia (Mohmood & Hossain, 2017), Uganda (Kisakye & Bruggen, 2018). Estos han sido utilizados para uso potable y no potable; en Ciudad de México para aliviar el problema de estrés hídrico y la sobreexplotación de los acuíferos (Gispert et al., 2018), como es el caso de la estimación de captación, almacenamiento y consumo de agua lluvia de La unidad Azcapotzalco de la Universidad Autónoma Metropolitana, ubicada en la Ciudad de México, quien sufre de desabastecimiento durante meses al año (Solórzano-Villarreal, 2020), Australia (Qing, 2022), Kenia (Amos et al., 2018), Jordania (Abu-Zreig et al., 2019) e incluso el aprovechamiento sin superficie de captación como los platillos de lluvia, donde se reduce las posibilidades de presencia de impurezas y procesos de desinfección lo que facilita el uso de manera inmediata (Madgundi et al., 2022). De igual manera se ha utilizado para el suministro de edificaciones como en Bangladesh (Bashar et al., 2018), en Colombia para proyectos de viviendas (Morales-Pinzón et al., 2012) y en zonas rurales de la India es utilizada para el suministro de centros educativos (Richards et al., 2021).

A pesar que el aprovechamiento de las aguas lluvias es un tema que ha sido abordado en la literatura bajo diferentes esferas de acción, no obstante, en Colombia los estudios son escasos uno de ellos son la aplicación del aprovechamiento de las aguas de lluvia que realizan las Tiendas Alkosto en la ciudad de Bogotá donde cerca de 6000 m² de la superficie del techo se utilizan para captar aproximadamente 4820 m³ de agua de lluvia al año, lo que garantiza el 75% del consumo de agua del edificio; igual sucede en otra sede comercial de la misma tienda en Villavicencio (Meta) la cual posee una azotea de 1061 m² con la cual se capta el agua de lluvia, se almacena en un depósito de 150 m³ posteriormente se depura en una planta de tratamiento para proporcionar agua potable lo que permite satisfacer la demanda de agua de la tienda durante todo el año (Ballén et al., 2006).

Otros de los casos de investigaciones sobre el aprovechamiento del agua de lluvia en Colombia es la realizada por (Morales-Pinzón et al., 2015) donde estimó el potencial de sustitución de agua corriente proveniente del aprovechamiento de agua lluvia para proyectos de viviendas urbanas en 10 ciudades de Colombia, donde concluye que el aprovechamiento de aguas lluvias podría ser una alternativa posible en ciudades como Manizales,

Medellín, Ibagué, Armenia y Pereira en aquellos escenarios donde la medida actual de consumo de agua es baja y para estratos socioeconómicos más altos (al menos) de vivienda adosada (Tipo II).

Para la región del Chocó biogeográfico son desconocidos los estudios y publicaciones, no obstante, esta zona se caracteriza por presentar altas precipitaciones durante gran parte del año, en el departamento del Chocó las lluvias son superiores a los 8000 milímetros al año (Codechocó, 2020). Sin embargo, estas condiciones particulares de alta pluviosidad no garantizan el acceso de agua potable a las poblaciones. La ciudad de Quibdó acoge una población de 113.574 habitantes, población con una diversidad étnica entre afros (86,4%), indígenas (1,3%) y mestizos (12,3%), el 92,8% de los habitantes se ubican en la cabecera municipal con una densidad de 7,9 personas/km² y 7,2% se encuentran en el área rural con una densidad de 2,5 personas/km² (Alcaldía de Quibdó, 2019). La ciudad presenta una temperatura promedio anual de 28°C, con una altitud sobre el nivel del mar de 43 metros y según los registros de precipitación, desde el 2000 hasta el 2015, el promedio de lluvia de 8135 milímetros al año; no obstante, los valores mínimos se desarrollan durante los meses enero, febrero, marzo y abril; en cambio, los meses de mayor precipitación son de mayo a diciembre (Murillo et al., 2005).

Para la ciudad de Quibdó, el servicio de acueducto es suministrado por la empresa Aguas del Atrato filial de EPM, esta empresa presenta un alto índice de discontinuidad en la prestación del servicio para toda el área urbana, existen algunas zonas con prestación del servicio de agua durante las 24 horas para los barrios tradicionales que conforman la Comuna Tres¹ ubicados en la zona céntrica de la ciudad, constituida por el sector comercial, institucional y residencial (Alcaldía de Quibdó, 2002), sin embargo, esta situación no es similar para otros sectores y barrios de la ciudad de Quibdó donde la ausencia del servicio es una constante y con ello la ciudad resilientes.

Los registros de cobertura del servicio de acueducto difieren por parte de las entidades territoriales, la alcaldía reporta para el año 2015 que en la cabecera municipal la

cobertura presentaba un porcentaje de 29,9% (Alcaldía de Quibdó, 2019), sin embargo el Departamento Nacional de Planeación DNP registra un valor de 25,2% siendo el promedio nacional del 86,4% (DANE, 2019) esto quiere decir, que la prestación del servicio de agua potable para la ciudad de Quibdó se encuentra por debajo del promedio nacional.

En la actualidad la empresa Aguas del Atrato según el reporte del año 2020 expresa que la cobertura en la prestación del servicio de acueducto es del 49,4% y de alcantarillado del 19,6% para el año 2020, (Aguas del Atrato, 2020) sin embargo, la continuidad del servicio es inequitativa ya que existen sectores con cobertura de 24 horas y otros donde el servicio se realiza en promedio de dos a seis horas. En definitiva, la prestación del servicio de agua potable refleja una carencia en el acceso al recurso para los habitantes de la ciudad. Por lo tanto, se hace necesario que los habitantes que no se encuentran dentro de la red de distribución implementen sistemas alternativos de captación y almacenamiento del agua, los cuales garantizan el abastecimiento, como es el caso del barrio Buenos Aires, área de estudio de esta investigación.

Las captaciones de aguas lluvias y los modelos de almacenamiento; con ello describir la forma de abastecimiento de agua en el territorio a partir, de las interpretaciones de sistemas tradicionales o adaptados a las necesidades sociales, que permiten la conformación y reconocimiento del medio geográfico habitado como un elemento dinamizante entre los recursos naturales y el ser humano, bajo unas características socioculturales. Esta investigación busca caracterizar los sistemas de captación y almacenamiento de agua lluvias presentes en la ciudad de Quibdó en las áreas no conectadas al sistema de acueducto con relación al metabolismo social mediante la aplicación de técnicas cualitativas y cuantitativas en donde se pretende dar respuesta a las siguientes interrogantes: ¿cómo realizan la captación de agua?, ¿cuáles son los sistemas de almacenamiento que utilizan?

Métodos y técnicas

Esta investigación se realizó bajo técnicas de recolección que permitieron hacer un estudio descriptivo

comparten aspectos en común como ubicación geográfica, topografía, cobertura etc.

¹ Comuna Tres: El concepto de comuna está asociado a una subdivisión administrativa del territorio correspondiente al área urbana, rural o mixta, para el caso de estudio corresponde al área urbana las cuales

con enfoque mixto, ya que utiliza metodologías cualitativas y cuantitativas para la recolección de información, centradas en el estudio de caso focalizadas para el barrio Buenos Aires de la ciudad de Quibdó, en el departamento del Chocó, siendo este uno de los sectores que no se encuentran interconectados a la red de acueducto municipal, por lo tanto, los habitantes utilizan otras alternativas para el abastecimiento de agua.

La investigación se desarrolló mediante cinco fases, la primera correspondió a la identificación, selección del área de estudio, se utilizó una matriz de priorización, con criterios como desconexión a la red de acueducto, accesibilidad, garantías de seguridad, disponibilidad de información y grupos de interés sociales.

En la segunda fase se realizó la recolección de información de fuentes secundarias, éstas se obtuvieron a partir de publicaciones, estudios y reportes realizados por el DANE, IDEAM, Alcaldía de Quibdó, Empresa Aguas del Atrato (empresa de acueducto), Codechocó, Universidad Tecnológica del Chocó principalmente, posteriormente se realizó la revisión y análisis de la información obtenida.

En la tercera fase se realizó la selección de la muestra y la construcción del instrumento de recolección; se tomó de base para la selección el censo preliminar que tenía la Junta de Acción Comunal, cuyo estimado era de 482 predios, de los cuales solo se tuvo acceso a 150 viviendas, quienes de manera libre y voluntaria participaron en la investigación. En cuanto al instrumento de recolección se decidió implementar el método de James P. Spradley con relación a la entrevista etnográfica a los propietarios/poseedores de las viviendas (porque la población objeto de estudio es mayormente étnica, con prácticas culturales y sociales que deben de identificarse y reconocerse desde el territorio, lo que facilita la identificación de la relación entre el recurso y los habitantes, de igual manera se recolectan permitiendo obtener datos demográficos de la población objeto de estudio, usos, prácticas culturales que desarrollan y las alternativas de solución que han implementado para autoabastecerse, por otra parte, se complementó la recolección de información mediante la aplicación de una encuesta dirigida para conocer los sistemas de abastecimiento, almacenamiento, las estructuras de conducción y los tratamientos que se realizan al agua los habitantes del barrio.

En la cuarta fase se realizó la aplicación del instrumento de recolección de información, en la zona de estudio, donde se realiza la medición de las áreas de las cubiertas de la vivienda y la pendiente de las cubiertas. Posteriormente, se realizó el procesamiento y análisis de la información aplicando técnicas de muestreo probabilístico. Finalmente, se obtienen los resultados y la construcción de los documentos.

Área de estudio

Para la caracterización de los sistemas de abastecimiento de la ciudad de Quibdó, se seleccionó el barrio Buenos Aires, debido a que este, hace parte de los sectores de la ciudad que no están conectados a la red de acueducto municipal, el área en mención se encuentra en la comuna uno de la ciudad, la cual alberga todos los barrios de la zona norte del municipio; se caracteriza por tener terrenos ondulados y quebradizos con poca vegetación originada por los asentamientos y la erosión del terreno.

Este barrio se originó a mediados de la década de los 80 del siglo XX, a partir de fincas que fueron abandonadas posteriormente por los procesos de migración del campo, estos fueron habitados para posteriormente ser legalizados ante el municipio (Castillo, 2016). La zona crece lentamente sobre las cimas de colinas sin parámetros de desarrollo (Alcaldía de Quibdó, 2015).

El barrio Buenos Aires presenta una temperatura promedio anual de 28°C con una altitud sobre el nivel del mar de 43 metros y una precipitación promedio de, 8135 milímetros al año, siendo los meses de mayor precipitación de mayo a diciembre y de febrero a abril los meses secos (Murillo et al., 2005).

Resultados

El agua es un elemento vital integrador sobre el cual los individuos han creados múltiples significados en todos sus procesos históricos, es por lo tanto que cada grupo humano presenta una relación con la cultura del agua, mediante sus simbolismos material e inmaterial (Trujillo et al., 2018). Para el caso de estudio en la ciudad de Quibdó los pobladores presentan una practicas relacionadas con el vínculo y la cosmovisión de los pueblos afro hacia el recurso hídrico.

Los principales usos del agua lluvia de los habitantes del barrio Buenos Aires de la ciudad de Quibdó se destinan al

consumo, para este se requiere hervirla o utilizar filtros; otras actividades no necesitan de la potabilización e incluyen aseo personal, de vivienda, lavado de ropa, recreación, suministro para plantas, también tiene un sentido particular de sanador a través de la práctica de medicina tradicional mediante los baños y bebidas que se realizan para curar enfermedades. Es un elemento comunicativo en el diario vivir de las personas, es un tema de especial interés, ya sea por la ausencia de las precipitaciones, el aumento o la posibilidad de compartir el recurso hídrico.

Con relación a las prácticas del uso del agua lluvia, mayoritariamente son las mujeres quienes se dedican a la protección, recolección y uso, debido a que generalmente son las encargadas de la cocción de alimentos, actividades de aseo y demás prácticas. Por todo lo anterior, para los habitantes el agua tiene un significado especial, por lo tanto, todos los habitantes tienen prácticas de protección y cuidado en la gestión del agua lluvia, y en temporadas de sequías éstas se intensifican debido a la carencia del recurso.

Las 150 viviendas que se incluyeron en el estudio se caracterizan por ser construcciones en concreto, mampostería y un sistema estructural tradicional de vigas y columnas con cerca del (85%) el resto, son construcciones tradicionales de la región en madera con algunas adecuaciones de concreto siendo el (15%).

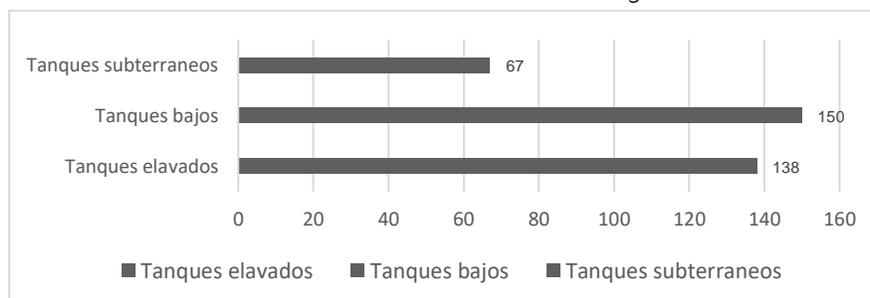
Los habitantes realizan la captación del agua lluvia a través de canales o cunetas que transportan el agua, estas son hechas de policloruro de vinilo o en concreto, para algunos casos; posteriormente el agua es conducida por una tubería del mismo material (policloruro de vinilo) de un diámetro que oscila entre dos a cuatro pulgadas. A partir del dialogo realizado con los habitantes expresan

que el agua se almacena en un periodo de dos a tres meses, época en que se realizan mantenimiento, limpieza y desinfección a los tanques.

A partir de los recorridos realizados, se logró recolectar y analizar la información de 150 viviendas, se evidenció tres sistemas de almacenamientos utilizados que corresponden a tanques, estos se caracterizan por ser tanques elevados, bajos y subterráneos, el total de hogares se identificó 373 estructuras para el almacenamiento del agua, de estas el 41,8% (156) son para tanques elevados, el 40,2% (150) son utilizados en tanques bajos y el 17,9% (67) para tanques subterráneos; estos tanques de almacenamiento abarcan diversas presentaciones desde 500 litros hasta los 3000 litros.

Los tanques bajos que existen, algunos construidos en concreto con recubrimiento cerámico, para estas estructuras de almacenamiento se requiere un profesional que las adecue o fabrique, sin embargo, también se encontraron tanques bajos de policloruro de vinilo. Igualmente, se identifican tanques elevados, para su utilización requiere de una adecuación previa como la construcción de una estructura en concreto reforzado, que se implanta como una estructura en concreto reforzado que soporta los tanques, además la instalación de tuberías para la distribución, este tipo de estructura tiene mayor costo los que tanques bajos. Dada la ausencia del sistema de acueducto, las viviendas combinan sistemas de almacenamiento, lo cual permite poseer mayor cantidad de agua, por ejemplo, se utiliza los tanques elevados como complementos de los tanques bajos. Además, los materiales de los tanques utilizados para la contención del agua en su mayoría son de polímero de policloruro de vinilo (82,1%) y en concreto (17,9%).

Figura 1.
Distribución de los sistemas de almacenamiento de agua lluvia



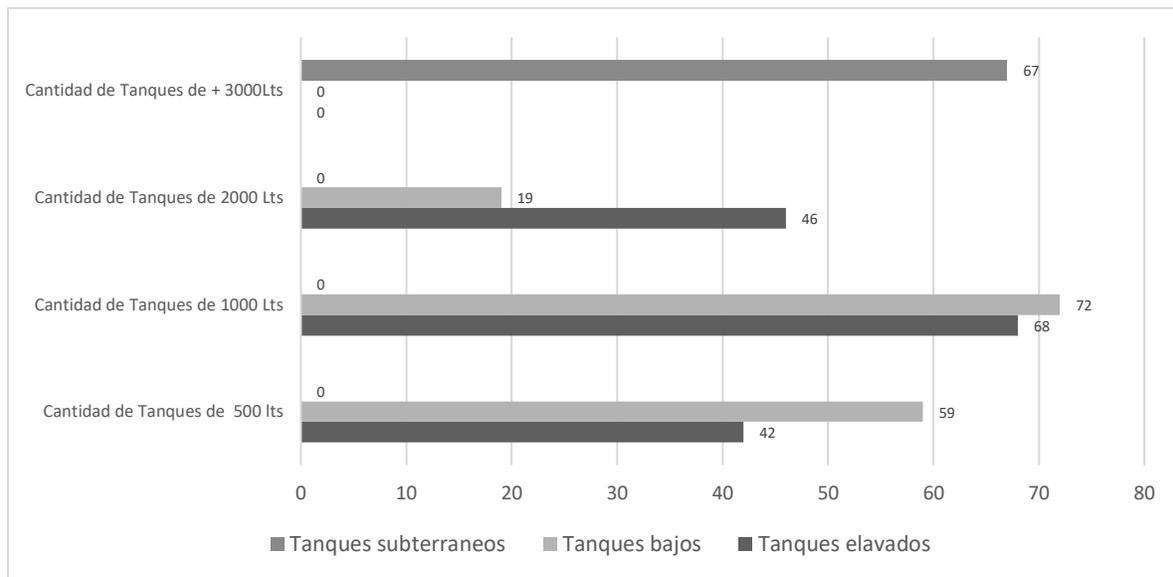
Fuente: elaboración propia

En la Figura 1 se relaciona la cantidad de estructuras de almacenamiento con el número de estas, obteniendo que de las 150 viviendas seleccionadas del barrio Buenos Aires, (138) viviendas cuentan con tanques elevados, con

un promedio de dos (2) tanques por viviendas, (150) cuentan con al menos un (1) tanque bajo y finalmente existen (67) viviendas las cuales se abastecen a través de un (1) tanques subterráneos.

Figura 2.

Distribución de los tanques de almacenamiento en función del volumen de agua



Fuente: elaboración propia

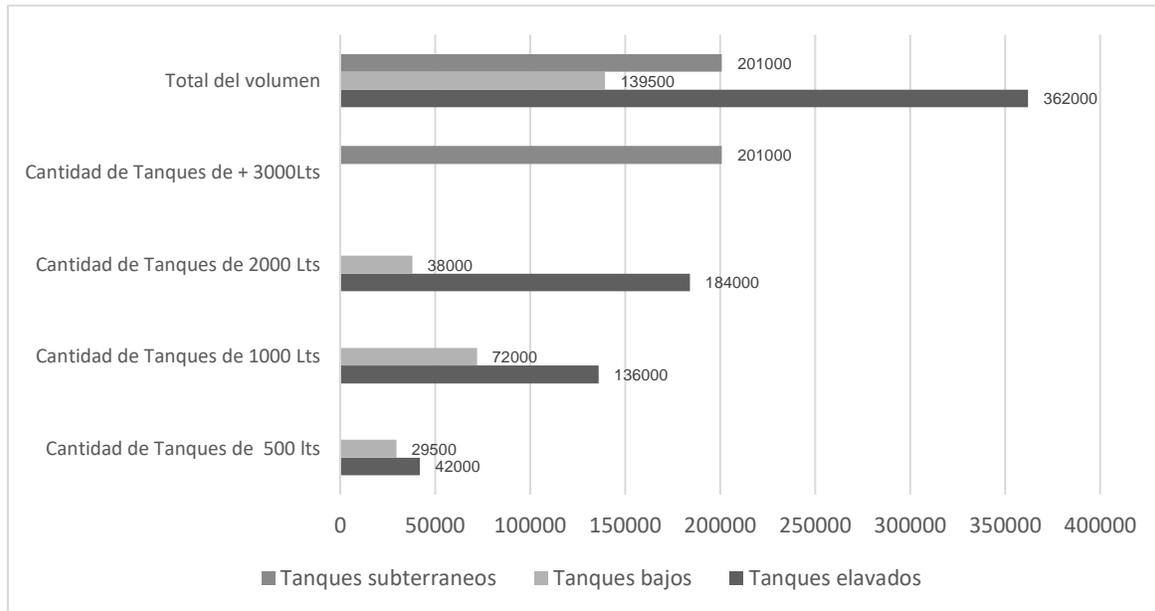
Con base a la información recolectada en las visitas domiciliarias se evidencia que la mayor proporción de las viviendas cuentan con tanques de 1000 litros para el almacenamiento del agua, los cuales se encuentran distribuidos en (68) para tanques elevados y (72) para tanques bajos, seguidos de los tanques de 500 L, este tipo de tanque presenta una distribución de (42) tanques elevados y (59) tanques bajos. Seguido se ubican los tanques de 2000 L los cuales (46) son elevados y (19) tanques bajos. Finalmente, los sistemas de almacenamiento superior a 3000 L se caracterizan por ser subterráneos con una distribución del (67). Además, no se encontró en ninguna de las viviendas visitadas tanques elevados o tanques bajos superior a 3000 litros, para estos casos son más utilizados los subterráneos, debido a

la facilidad en el transporte e instalación dentro de las viviendas.

Cabe resaltar que los sistemas de abastecimiento de 500-1000 L son más usados debido a disponibilidad en el mercado local, asimismo, los tanques bajos son más utilizados a raíz de los bajos costos para la instalación, adecuación y mantenimiento en comparación con la instalación de tanques elevados. Estos sistemas no convencionales les permiten abastecer a los hogares de una cantidad de agua, la cual va a depender de los diversos usos que se realicen en los distintos hogares, así como de los mecanismos de ahorro que implementen en los mismos, por este motivo en la siguiente gráfica se detalla el volumen total que podría almacenar cada uno de los diversos sistemas de almacenamientos:

Figura 3.

Total, Capacidad de almacenamiento por diferentes tanques



Fuente: elaboración propia

Se puede observar que en la anterior figura las estructuras de mayor capacidad de almacenamiento son los tanques elevados debido a que hay mayor cantidad de unidades y permiten almacenar hasta un total de 362000L (para un total de 156 unidades). Seguido de los tanques subterráneos con un volumen de 201000 L, aunque sean pocas estructuras (67 unidades) en comparación con los tanques bajos. Los tanques bajos permiten almacenar 139500 L distribuidos en 150 tanques, cabe aclarar que, para los casos de tanques de 500 litros, las viviendas duplican la capacidad alcanzando hasta un volumen de 1000 L. A partir de los diversos usos que las viviendas

realizan el Reglamento Técnico del sector Agua Potable (RAS 2000) realiza una estimación de la dotación neta para poblaciones con clima cálido de 100 L/hab día. Para el caso de estudio del barrio Buenos Aires, se determinó un promedio de cinco (5) habitantes por vivienda, según las visitas realizadas; dato que corrobora el censo de viviendas y hogares de Quibdó realizado por el DANE en el 2018 se determinó la duración que podrían tener los diferentes tanques, tal como se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 1.

Duración del agua lluvia en diversos sistemas de almacenamiento

Duración del Agua Lluvia en Sistemas de Almacenamiento.							
Combinación de Sistemas de Almacenamiento de Agua Lluvia	Vol. Total	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6
1 Tanque 500 l	500	0					
2 Tanques de 500 l	1000	-500	0				
1 Tanque de 1000 l y (1) de 500 litros	1500	-1000	-500	0			
1 Tanque de 2000 l	2000	-1500	-1000	-500	0		
1 Tanque de 2000 L y (1) de 500 litros	2500	-2000	-1500	-1000	-500	0	
1 Tanque de 3000 L	3000	-2500	-2000	-1500	-1000	-500	0

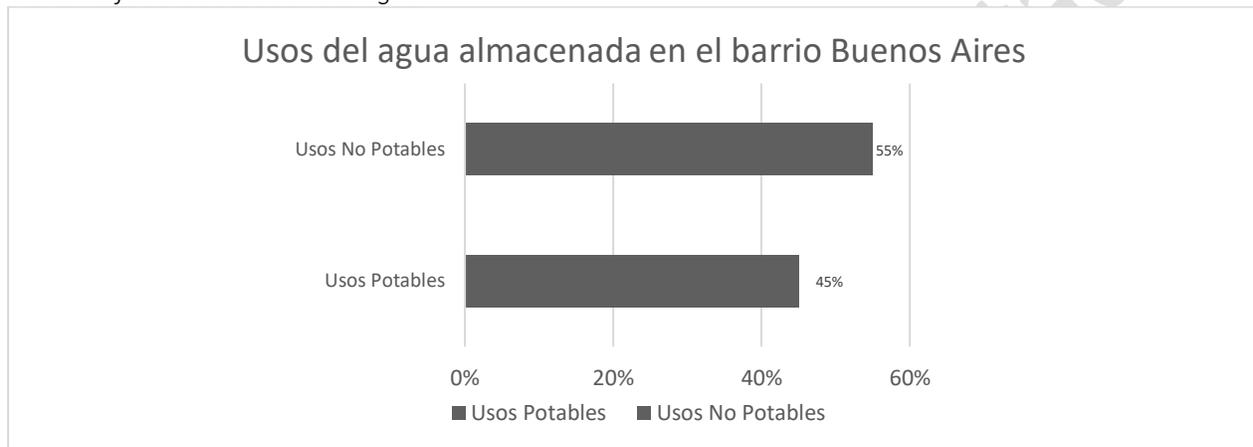
Fuente: elaboración propia

En la tabla uno, se evidencia que un hogar promedio del barrio Buenos Aires consume 500 L en un lapso de 24 horas, permitiendo el abastecimiento de un día, los principales usos de esta agua se distribuyen de la siguiente manera, en donde el 55% del volumen se distribuye en usos no potables los cuales están asociados actividades de aseo (vivienda, personal), lavado de ropa, descarga de unidades sanitarias, mantenimiento de plantas y sólo el 45% del agua restante es para usos que

requieren una mayor calidad (agua potable), el cual se centra en la preparación de alimentos, cocinar, hidratación y atención especial para bebés y niños.

Es importante mencionar que el agua no potable utilizada en labores puede generar riesgo gastrointestinal (diarrea, cólera, la disentería, fiebre tifoidea, poliomielitis entre otros) para los habitantes, por este motivo es vital realizar procesos de desinfección y potabilización para su consumo.

Figura 4.
Porcentaje de distribución del agua



Fuente: elaboración propia

Con base a la Tabla 1 se realizaron diversas combinaciones de sistemas de almacenamiento que incluía tanque de 1000 L y tanque subterráneo (3000 L), lo que garantiza agua de lluvia para máximo 5 días, esto aplica para el escenario de temporada de sequías o ausencias de lluvias en donde no hay ingreso de agua lluvia al sistema. Sin embargo, para el escenario de temporada de lluvia en donde los sistemas de

almacenamiento tienen una recarga constante de agua lluvia se determinó que para los lotes de las viviendas el área promedio es de 90m² de los cuales se tiene una cobertura superficial de captación (techo) de aproximadamente 72m² (6 m*12m), por lo general está cobertura se realiza a través de láminas de zinc el cual puede llegar a obtener un caudal máximo de 1444,2 L/día, tal como se demuestra en la siguiente fórmula.

Ecuación 1.

$$Q = S * I * C$$

$$Q = 72 \text{ m}^2 * 8135 \frac{\text{ml}}{\text{año}} * 0,9 * \frac{1 \text{ año}}{365 \text{ días}} = 1444,2 \frac{\text{litros}}{\text{días}}$$

S = superficie de la cubierta

I = Intensidad de lluvias

C = Coeficiente de escorrentia

Lo anterior demuestra que las viviendas que poseen un tanque de 500 L en temporada de lluvias no presentarán carencias de agua lluvia para su utilización, debido a que podrán tener una recarga superior a la capacidad de almacenamiento del tanque, para las viviendas que tengan una capacidad de 1500 L estas podrán llegar a tener suministro aproximado de tres días cuando en temporada de lluvias cesen las precipitaciones. Por lo anterior se demuestra que los sistemas de abastecimiento de agua lluvia presentan grandes posibilidades para el departamento del Chocó y la para ciudad Quibdó en las zonas no conectadas a la red de acueducto. De igual manera sí en los hogares se establecen mecanismos de ahorro estos volúmenes de agua pueden durar mucho más tiempo.

Discusión

El agua no ha sido abordada de la misma manera en los análisis metabólicos como los recursos de energía y nutrientes por ser un recurso necesario e integrador en el sistema natural (Tobón, 2013), solo se han enfocado los estudios de flujo de agua desde el aspecto cuantitativo, por lo tanto, es necesario incursionar y aportar a la investigación de este recurso hídrico, especialmente en regiones con una amplia oferta del recurso hídrico, como es el departamento del Chocó.

En los últimos años el metabolismo se ha considerado una herramienta que aborda la compleja dinámica de las ciudades con el objetivo de fomentar la sostenibilidad el cual permita desarrollar modelos circulares de uso de los recursos para otros procesos, asimismo, sirva como elemento estratégico en la toma de decisión y la construcción de política que facilite la protección, conservación del recurso (John et al., 2019). Igualmente, las dinámicas sociales a partir de la oferta y demanda de servicios públicos, en especial el agua, para el tema de la expansión urbana y la resiliencia de la ciudad con relación a tendencias mundiales como el crecimiento poblacional, el cambio climático y demás fenómenos que afectan las dinámicas de los ecosistemas y su relación con las ciudades.

Según la Asamblea de las Naciones Unidas los seres humanos deben tener acceso a una cantidad suficiente para el uso doméstico y personal el cual oscila entre los 50 y 100 litros de agua por persona al día, esta debe ser segura (potable) aceptable y asequible con relación a la distribución y el costo (Programa ONU-Agua, 2015). Existe

una carencia en el acceso del agua para los habitantes del barrio Buenos Aires, debido a que la prestación de servicios es desigual en la ciudad de Quibdó y eso incluye el barrio.

Los registros de precipitación que se presentan en la ciudad de Quibdó son de especial interés, lo cual esta originado por su ubicación geográfica y su clima, por lo tanto, se convierten en un potencial para la ciudad; entre las ventajas de estos sistemas de captación se encuentra el bajo costo, facilidad de acceso entre otros, para los habitantes de Buenos Aires los usos destinados del agua lluvia es de tipo potable y no potable, sin embargo, para el consumo se hace necesario implementar otro tipo de medidas. Para garantizar el almacenamiento del agua se utiliza estructuras como tanques de almacenamiento en la cual el agua permanece durante un tiempo determinado, por este motivo (Richards et al., 2021) considera que el almacenamiento del agua lluvia aumenta la actividad microbiana, lo que puede generar alto riesgo de contaminación para el uso potable, por lo tanto, este planteamiento se puede controlar a través de la reducción en los tiempos de almacenamiento, el aumento de la frecuencia de limpieza y mantenimiento de las estructuras, al igual que la utilización de desinfectantes como el cloro, el cual es de bajo costo. Para los habitantes del barrio Buenos Aires, algunos de los pobladores manifiestan la utilización de cloro y pastillas de cloro para desinfectar los tanques. Es probable que las viviendas que no realicen procesos de desinfección puedan presentar enfermedades gastrointestinales asociadas al consumo de agua no potable.

Es importante mencionar que en los casos particulares donde las lluvias se disminuyen se hace necesario garantizar el agua para uso potable mediante la compra de agua empacada en presentaciones de 5 litros, lo cual conlleva a un sobrecosto económico para los pobladores del barrio.

Se hace necesario que dadas las condiciones que presenta Quibdó en la insuficiencia de cobertura de agua potable se garantice el acceso a esta por medio de mecanismos alternativos como aprovechamiento de agua lluvia mediante la utilización de los techos de las infraestructuras colectivas (colegios, juntas de acción local, centros de desarrollo integral) los cuales pueden contar con procesos de desinfección como filtros de arena con carbón activado u otro tipo de desinfectante, asimismo generar campañas de sensibilización a los

habitantes de las áreas alejadas de Quibdó. De igual manera se hace necesario que el gobierno nacional establezca una política de gestión hídrica en la que se involucre estos sistemas de captación como mecanismos de adaptación al cambio climático porque reduce el consumo directo de agua provenientes de las fuentes hídricas, los costos y la utilización de energía eléctrica asociado a los procesos operativos de potabilización.

De igual manera estos proyectos de captación superficial de agua lluvia vinculados a proyectos de construcción como las viviendas de interés social ofertadas por el gobierno nacional son estrategias que garantizan la protección del recurso hídrico, acceso al recurso los cuales pueden ser utilizados para actividades de aseo y mantenimiento de áreas verdes e infraestructura.

Conclusión(es)

Con base a las preguntas planteadas en torno a los sistemas de captación, almacenamiento y vertimiento de aguas domésticas del barrio Buenos Aires se puede concluir, que los sistemas de captación de agua lluvia puede ser un sistema apropiado para la zona no interconectada a la red de acueducto debido a que es un sistema sencillo, económico y que está incorporado en la estructura de la vivienda, el cual consiste en la captación que se realiza por medio de la cubierta o techo, posteriormente se conduce por tuberías hasta los tanques de almacenamiento.

De igual manera existe tres (3) tipos de estructuras de almacenamientos en el área de estudio, las cuales son los tanques elevados, tanques bajos y tanques subterráneos; los de mayor uso por parte de la población son los tanques bajos. Existe un total de 373 estructuras de acopio, los cuales se distribuyen en 156 tanques elevados, 150 tanques bajos y 67 tanques subterráneos, dada la carencia en la prestación del servicio, los habitantes del barrio combinan diferentes estructuras para el almacenamiento, como son los tanques elevados con tanques bajos; o los tanques subterráneos con los tanques elevados.

Para el área de estudio en donde existe un promedio de cinco personas por vivienda se determina que el volumen de agua a requerir diario es de 500 L/día y dependiendo del tipo de estructura que se tenga puede durar entre 1-5 días sin ingreso de lluvias, sin embargo, en temporadas de lluvias hay una recarga constante de los

sistemas de almacenamiento lo que evita la carencia del agua. La disposición final de los vertimientos domésticos aun es un tema que se debe definir, aunque se utilizan sistemas convencionales como pozos sépticos, esta estos generan conflictos en la comunidad, problemáticas ambientales con referencia a la proliferación de vectores e insectos dentro del territorio y con ello la aparición de enfermedades tropicales.

De igual manera se concluye que se debe de garantizar la potabilización del agua, por medio de técnicas como hervirla o utilizar filtros, de lo contrario se presenta alto riesgo de sufrir enfermedades gastrointestinales.

Finalmente, el metabolismo social se consolida como una herramienta para la medición de la sostenibilidad del territorio, permitiendo la toma de decisiones y la formulación de políticas en la ciudad de Quibdó, por otra parte, muestra la apropiación del recurso hídrico por los pobladores del territorio, sus usos basados en las costumbres, acordes a un medio geográfico y cultural.

Conflicto de interés

Esta investigación no fue influenciada en ninguna de sus fases de desarrollo por agentes externos o intereses personales del equipo de investigación que hayan hecho perder la rigurosidad y/o objetividad en la obtención de los resultados.

Agradecimientos

Queremos agradecer especialmente a los habitantes del barrio Buenos Aires de la ciudad de Quibdó, por participar en la investigación, a los estudiantes de la Universidad Tecnológica del Chocó quienes colaboraron en la recolección de información.

Referencias

- Abu-Zreig, M., Ababneh, F., & Abdullah, F. (2019). Assessment of rooftop rainwater harvesting in northern Jordan. *Physics and Chemistry of the Earth*, 11. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.pce.2019.08.002>
- Agua del Atrato. (2020). *Cobertura de Servicios por parte de la empresa Aguas del Atrato*.
- Alcaldía de Quibdó. (2002). *Diagnostico del Esquema de Ordenamiento Territorial de la ciudad de Quibdó, 2001-2003*.
- Alcaldía de Quibdó. (2015). *Diagnostico Urbano*. <http://munihuancayo.gob.pe/portal/upload/document>

- os/2015/gerencia_subgerencia/desarrollo_urbano/pla
n/DiagnosticoPDU.pdf
- Alcaldía de Quibdó. (2019). *Plan de Desarrollo del municipio de Quibdó 2016-2019*.
- Amos, C.-C., Rahman, A., & Mwangi, J. (2018). Economic analysis of rainwater harvesting systems comparing developing and developed countries : A case study of Australia and Kenya. *Journal of Cleaner Production*, 172, 196–207.
https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.114
- Ballén, J., Galarza, M., & Ortiz, R. (2006). Historia de los Sistemas de Aprovechamiento de Agua Lluvia. In *International Symposium on Hydraulic Structures - XXII Congreso Latinoamericano de Hidraulica*.
- Bashar, I., Karim, R., & Alam, M. (2018). Reliability and economic analysis of urban rainwater harvesting : A comparative study within six major cities of Bangladesh. *Resources, Conservation & Recycling*, 133(June 2017), 146–154.
https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.01.025
- Calvacante, T. S., Guiselini, C., Duarte, S. lopes C., Vinicius, M., Brauer, R. V., Santos, J. A. J., Souza, A. M., & Manicoba da Rosa, A. J. (2022). Quality of rainwater drained by a green roof in the metropolitan region of Recife Brazil. *Journal of Water Process Engineering*, 49.
https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2022.102953
- Castillo, M. M. (2016). *El proceso urbano territorial de Quibdó: Una relación entre la gestión de los servicios públicos domiciliarios y las acciones de ordenamiento 2001-2014* [Universidad Colegio Mayor de nuestra señora del Rosario].
https://repository.urosario.edu.co/bitstream/handle/10336/12189/CastilloMosquera-MiguelOlegario-2016.pdf;jsessionid=DCDF1B01FFF97B933ED7D33FCD7EBA5B?sequence=1
- Codechocó. (2020). *Plan de Acción Institucional 2020-2023*.
https://codechoco.gov.co/loader.php?lServicio=Tools2&lTipo=viewpdf&id=368
- DANE. (2019). *Resultados Censo Nacional de Población y Vivienda 2018*.
- Fischer-kowalski, M., & Weisz, H. (1999). Society as hybrid between material and symbolic realms. Toward a theoretical framework of society-nature interaction. *Advances in Human Ecology*, 8, 215–251.
- Gispert, M., Hernandez, M., Climent, E., & Florez, M. (2018). FloresLa captación de agua de lluvia como opción de agua potable para la ciudad de México. *Sostenibilidad*, 10(11).
- Haberl, H., Wiedenhofer, D., Pauliuk, S., Krausmann, F., Müller, D. B., & Fischer-Kowalski, M. (2019). Contributions of sociometabolic research to sustainability science. *Nature Sustainability*, 2(3), 173–184. https://doi.org/10.1038/s41893-019-0225-2
- Jalili, N., & Jalili, N. (2020). Technical feasibility analysis of rainwater harvesting system implementation for domestic use. *Sustainable Cities and Society*, 62(June), 102340. https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102340
- John, B., Luederitz, C., Lang, D. J., & von Wehrden, H. (2019). Toward Sustainable Urban Metabolisms. From System Understanding to System Transformation. *Ecological Economics*, 157, 402–414. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2018.12.007
- Kisakye, V., & Bruggen, B. Van Der. (2018). Effects of climate change on water savings and water security from rainwater harvesting systems. *Resources, Conservation & Recycling*, 138(April), 49–63. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.07.009
- Lv, H., Yang, L., Zhou, J., Zhang, X., Wu, W., & Li, Y. (2020). Water resource synergy management in response to climate change in China: From the perspective of urban metabolism. *Resources, Conservation & Recycling*, 163(May), 105095. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105095
- Madgundi, M. M., Kumbhar, A. P., Lele, G. M., Komble, S. P., Marane, Y. H., & Mate, A. R. (2022). Design and investigation on rain saucer: The technique of roofless rainwater harvesting. *Materialstodya Proceedings*. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.09.169
- Maranghi, S., Parisi, M. L., Facchini, A., Rubino, A., Kordas, O., & Basosi, R. (2020). Integrating urban metabolism and life cycle assessment to analyse urban sustainability. *Ecological Indicators*, 112(January), 106074. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106074
- Mohmood, A., & Hossain, F. (2017). Feasibility of managed domestic rainwater harvesting in South Asian rural areas using remote sensing. *Resources , Conservation & Recycling*, 125, 157–168. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.06.013
- Morales-Pinzón, García-serna, M., & Flórez-calderón, M. (2015). *Quality of rainwater harvesting in urban systems : case study in Colombia*. 10(3), 424–431. https://doi.org/10.21666/wpt.2015.043

- Morales-Pinzón, T., Rieradevall, J., Gasol, C. M., & Gabarrell, X. (2012). Potential of rainwater resources based on urban and social aspects in Colombia. *Water and Environment Journal*, 1–10. <https://doi.org/10.1111/j.1747-6593.2012.00316.x>
- Murillo, W., Palomino, R., Córdoba, S., Aragon, C., & Banguero, E. (2005). El regimen diario de la precipitación en el municipio de Quibdó (Colombia). *Revista de Climatología*, 5.
- Nandi, S., & Gonela, V. (2022). Rainwater harvesting for domestic use: A systematic review and outlook from the utility policy and management perspectives. *Utilities Policy*, 77. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jup.2022.101383>
- Programa ONU-Agua. (2015). *El derecho humano al agua y al saneamiento*.
- Qing, Y. S. (2022). Chapter 4- Why downstream water management can increase environmental flow and irrigated water? Examples from Australia. *Coastal Reservoir Technology and Applications*, 133–200. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90790-3.00004-3>
- Richards, S., Rao, L., Connelly, S., Raj, A., Raveendran, L., Shirin, S., Jamwal, P., & Helliwell, R. (2021). Sustainable water resources through harvesting rainwater and the effectiveness of a low-cost water treatment. *Journal of Environmental Management*, 286(January), 112223. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112223>
- Rodríguez-Huerta, E., Rosas-Casals, M., & Hernandez-Terrones, L. (2019). Water societal metabolism in the Yucatan Peninsula. The impact of climate change on the recharge of groundwater by 2030. *Journal of Cleaner Production*, 235, 272–287. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.310>
- Romero, M. D. V. (2017). *Poblamiento y sociedad en el Pacífico Colombiano Siglos XVI al XVIII* (P. editorial U. del Valle (ed.); 2nd ed.).
- Serrao-neumann, S., Renouf, M. A., Morgan, E., Kenway, S. J., & Low, D. (2019). Urban water metabolism information for planning water sensitive city- regions. *Land Use Policy*, 88(February), 104144. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104144>
- Solórzano-Villarreal, J. O. (2020). Methodology to estimate the relationship of water consumption and rainwater harvesting system in a building located at the Universidad Autónoma Metropolitana, Azcapotzalco, Mexico Metodología para estimar la relación de consumo y captación de agua lluvi. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, c(6), 178–196. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2019-06-07>
- Tobón, R. C. (2013). *El Metabolismo Social para el manejo sostenible de los recursos naturales. El agua en la cuenca alta del río Bogotá* [Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/75024/53108511.2013.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Toledo, V. (2013). El metabolismo social: Una nueva teoría socioecológica. *Estudios de Historia y Sociedad*, 34(136).
- Toledo, V., & Gonzales de Molina, M. (2011). *Metabolismo, naturaleza e historia Hacia un teoría de las transformaciones socioecológicas* (Icaria (ed.)).
- Trujillo, C., Moncada, J. A., Aranguren, R., & Lomas, R. (2018). Significados del agua para la comunidad indígena fakcha llakta, canton otavalo, ecuador. *Ambiente y Sociedad*, 21.
- Wandiga, S. O., Masese, F., Mbugua, S. N., Macharia, J. W., & Atieno, M. (2021). Chapter 3-Challenges and solutions to water problems in Africa. *Handbook of Water Purity and Quality (Second Edition)*, 35–56. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821057-4.00005-7>
- Webb, R., Bai, X., Stafford, M. S., Constanza, R., Griggs, D., Moglia, M., Neuman, M., Newman, P., Newton, P., Norman, B., Ryan, C., Schandl, H., Steffen, W., Tapper, N., & Thomson, G. (2018). Sustainable urban systems: Co-design and framing for transformation. *Ambio*, 47. <https://link.springer.com/article/10.1007/s13280-017-0934-6>
- Zhou, W., Jiao, M., Yu, W., & Wang, J. (2019). Urban sprawl in a megaregion: A multiple spatial and temporal perspective. *Ecological Indicators*, 96(18), 54–66. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.10.035>