

Sistemas alternativos de captación y almacenamiento de agua 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 las relaciones de intercambio entre la sociedad y la naturaleza. Este permite analizar la sostenibilidad de los recursos naturales, como el agua, ligada a las relaciones entre la sociedad y la naturaleza. En este sentido, los grupos poblacionales tienen un peso significativo en el incremento del consumo de recursos y la transformación de la energía. Por eso, los sistemas alternativos de captación y almacenamiento de agua son importantes, pues permiten su autogestión. Esta investigación buscó caracterizar los sistemas de captación y almacenamiento de aguas lluvias presentes en la ciudad de Quibdó, en las áreas no conectadas al sistema de acueducto, en relación con el metabolismo social. Para ello, se utilizó una metodología de enfoque mixto, con técnicas cualitativas y recolección de información cuantitativa. Se realizaron visitas a 150 viviendas en las cuales se evidenciaron los sistemas de almacenamiento y las estructuras para el almacenamiento del agua; de estas, el 41,8 % fueron tanques elevados y el 40,2 % tanques bajos. Se encontró en un hogar un consumo promedio de agua de lluvia 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 de la vivienda, esta puede durar entre uno y cinco días sin precipitación de lluvias; sin embargo, en temporadas de lluvias hay una recarga constante de los sistemas de almacenamiento 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 relations between social and natural systems. This allows us to analyze the sustainability of natural resources, such as water, linked to the relationship between society and nature. For which, population groups have a significant weight in the increase of resource consumption and energy transformation. For this reason, alternative water collection and storage systems are important, as they allow for self-management. This research sought to characterize the rainwater catchment and storage systems present in the city of Quibdó, in areas not connected to the aqueduct system, in relation to social metabolism. For this purpose, a mixed approach methodology was used, with qualitative techniques and data collection. Visits were made to 150 homes in which storage systems and structures for water storage were evidenced; of these, 41.8% were elevated tanks and 40.2% were low tanks. The average consumption of rainwater in a household was 500 L/day, used for potable uses (food preparation, hydration, and care for babies and children) and non-potable uses focused mainly on cleaning (personal, housing, laundry). Depending on the water storage capacity of the house, it can last between one and five days without rainfall; however, in rainy seasons there is a constant recharge of the storage systems that prevents water shortages.

Keywords: Social Metabolism, Water Resource, Rainwater, Rainwater Storage, RWH.

Artículo de investigación / Research article

Cómo citar este artículo: Torres, C. y Morales, T. (2022). Sistemas alternativos de captación y almacenamiento de agua desde la perspectiva del metabolismo social, Quibdó, Colombia. *Jangwa Pana*, 21(3), 241-253. doi: <https://doi.org/10.21676/16574923.4785>

Recibido: 27/09/2022 | **Aceptado:** 13/12/2022 | **Disponible en línea:** 14/12/2022

Introducción

Existen procesos naturales que determinan la manera como el ser humano interactúa con la naturaleza. La asimilación de dichos procesos cada día es diferente de acuerdo con las dinámicas de transformación de los recursos naturales, la adaptación a los nuevos conceptos de territorio y las transiciones socioecológicas.

Las dinámicas demográficas que provocan la expansión urbana y definen la ocupación del suelo son las primeras provocadoras de los problemas urbano-ambientales. Estos establecen la resiliencia de las ciudades y con ello los problemas sociales y económicos, aspectos representativos en los modelos de ciudades incluyentes y sostenibles (Zhou et al., 2019). Al respecto, el recurso hídrico ha sido determinante para la localización y consolidación de los centros poblados, particularmente en el Pacífico colombiano. La adaptación del territorio a la vida humana ha obedecido a la diversidad de actores, factores sociales y económicos que han permeado el poblamiento de la región Pacífica (Romero, 2017).

En relación con esto, el metabolismo social vincula las visiones del territorio como un ecosistema, y extiende los impactos del ser humano a los recursos, los actores sociales y el medio ambiente (Webb et al., 2018). El metabolismo comienza cuando seres humanos socialmente agrupados utilizan materiales y energía, tomados de la naturaleza, como insumos, y termina cuando son eliminados en forma de desechos, residuos o emisiones. No obstante, existen fases intermedias que transforman, transportan y utilizan estos flujos de material y energía. Por eso, se identifican cinco funciones en el metabolismo social: apropiación, transformación, circulación, consumo y excreción. Estas están condicionadas por los procesos básicos relacionados con la extracción, la transformación y el uso de los recursos naturales, así como la generación de residuos y aspectos socioeconómicos, culturales, imaginarios, leyes, instituciones, conocimiento, política, gobernanza y percepción de los habitantes (Toledo, 2013), que en definitiva puede modificar la demanda y la aceleración de las tasas de consumo (Rodríguez-Huerta et al., 2019).

En pocas palabras, 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. El metabolismo social está condicionado por los procesos socioeconómicos, la tecnología, la geografía, la institucionalidad y los ecosistemas (Maranghi et al., 2020).

Las relaciones de los grupos sociales con los sistemas naturales tienen un peso significativo en el incremento del consumo de materiales y en la transformación del recurso. Esto implica un enfoque complejo e interdisciplinar, debido a que su estudio integra 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, que se basa en el equilibrio entre los ecosistemas y sus capacidades de automantenerse, autorregularse y autorreproducirse, independientemente de los sistemas humanos (Toledo & Gonzales de Molina, 2011). Esto permite armonizar el aprovechamiento de los recursos provenientes de la naturaleza sin agotarla, considerando el sistema económico como un sistema abierto basado en entradas y salidas continuas (ciclos) de materiales y flujos de energía.

Teniendo en cuenta la situación que viven territorios como el Chocó, se requiere proponer un enfoque diferencial, realista, coevolutivo, capaz de analizar las deterioradas relaciones 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). Por eso, es necesario identificar y caracterizar los sistemas de captación y almacenamiento de agua que los habitantes de Quibdó han desarrollado como sistemas alternativos debido a la carencia de red de acueducto. Estos sistemas están basados en la favorabilidad de las condiciones climáticas, el territorio y la cultura, lo que convierte a Quibdó en una ciudad resiliente.

Las principales fuentes de abastecimiento de agua urbana se alimentan de aguas superficiales, subterráneas, pluviales y marinas de ecosistemas circundantes (Lv et al., 2020). El aumento demográfico y urbanístico, los impactos ambientales del crecimiento económico y el usufructo de los recursos naturales hacen necesario encontrar sistemas alternativos para la gestión y la planificación del agua urbana (Serrao-neumann et al.,

2019). Por este motivo, se ha incursionado en el aprovechamiento del agua en diversas formas y estados, como la desalinización, la recolección y aprovechamiento de agua lluvia y la inclusión de una política pública para la gestión del recurso hídrico (Nandi & Gonela, 2022).

El tratamiento y almacenamiento de las aguas superficiales, subterráneas o marítimas puede ser costoso. Actualmente, Asia (India, China e Irán) y África presentan deterioro de los terrenos y contaminación debido al bombeo excesivo (Wandiga et al., 2021), sin embargo, el agua de lluvia es una alternativa confiable y económica para áreas con condiciones climáticas apropiadas para su recolección (Jalili & Jalili, 2020). De todos modos, los sistemas alternativos tienen impactos ambientales, pues reducen la demanda de los servicios de agua potable, alcantarillado, disminuyen la escorrentía, ayudan a conservar el recurso hídrico (Richards et al., 2021) y son 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), que posteriormente se recolecta mediante sistemas de conducción, los cuales la direccionan hacia un contenedor de almacenamiento (Richards et al., 2021). Sobre el aprovechamiento de estas aguas 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), y para el Sur de Asia es apto este sistema para las regiones de Bangladesh, Sri Lanka, cordillera del Himalaya, noreste, centro de Asia (Mohmood & Hossain, 2017) y Uganda (Kisakye & Bruggen, 2018). Estos han sido utilizados para uso potable y no potable; por ejemplo, en Ciudad de México se ha utilizado 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, que sufre de desabastecimiento durante varios meses al año (Solórzano-Villarreal, 2020). En Australia (Qing, 2022), Kenia (Amos et al., 2018) y Jordania (Abu-Zreig et al., 2019) incluso se ha utilizado el aprovechamiento sin superficie de captación por medio de los platillos de lluvia, con los que se reduce la presencia de impurezas y se ahorran los procesos de desinfección para garantizar el uso de manera inmediata (Madgundi et al., 2022). De igual manera, este sistema 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 de que el aprovechamiento de las aguas lluvias es un tema que ha sido abordado en la literatura bajo diferentes esferas de acción, en Colombia los estudios son escasos. Una de esas esferas de acción incluye el aprovechamiento de las aguas de lluvia que realiza las tiendas Alkosto en la ciudad de Bogotá, donde cerca de 6 000 m² de la superficie del techo se utilizan para captar aproximadamente 4 820 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 1 061 m² con la cual se capta el agua de lluvia, se almacena en un depósito de 150 m³ y posteriormente se depura en una planta de tratamiento para proporcionar agua potable. Esto permite satisfacer la demanda de agua de la tienda durante todo el año (Ballén et al., 2006).

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

Sobre 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 8 000 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 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 es de 8 135 milímetros al año. No obstante, los valores mínimos se desarrollan durante los meses de 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, como 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), pero 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 es resiliente.

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 era de 29,9 % (Alcaldía de Quibdó, 2019), sin embargo, el Departamento Nacional de Planeación DNP registra un valor de 25,2 % para el mismo año, siendo el promedio nacional de 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 (2020) afirma que la cobertura en la prestación del servicio de acueducto es del 49,4 %, y de alcantarillado del 19,6 %, sin embargo, la continuidad del servicio es inequitativa, ya que existen sectores con cobertura de 24 horas y otros de dos a seis horas diarias en promedio. En definitiva, los habitantes de la ciudad carecen del acceso a la prestación del servicio de agua potable. Por lo tanto, es 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.

Esta investigación busca caracterizar, en relación con el metabolismo social, los sistemas de captación y almacenamiento de aguas lluvias presentes en la ciudad de Quibdó en las áreas no conectadas al sistema de acueducto. Esto mediante la aplicación de técnicas cualitativas y cuantitativas con las que se pretende dar respuesta a los siguientes interrogantes: ¿cómo capta/recolecta el agua la comunidad?, ¿cuáles son los sistemas de almacenamiento que utiliza?

Métodos y técnicas

Esta investigación se llevó a cabo con técnicas de recolección que permitieron hacer un estudio descriptivo con enfoque mixto, ya que utiliza metodologías cualitativas y cuantitativas para la recolección de información. Se centró en un estudio de caso para el barrio Buenos Aires de la ciudad de Quibdó, en el departamento del Chocó. Este es 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 y selección del área de estudio. Para ello se utilizó una matriz de priorización con criterios como desconexión a la red de acueducto, accesibilidad, garantías de seguridad, disponibilidad de información y grupos sociales de interés. En la segunda fase se recolectó información de fuentes secundarias. Estas se obtuvieron de publicaciones, estudios y reportes del DANE, el IDEAM, la Alcaldía de Quibdó, la Empresa Aguas del Atrato (empresa de acueducto), Codechocó y la Universidad Tecnológica del Chocó principalmente. Por último, se revisó y analizó la información obtenida. En la tercera fase se seleccionó la muestra y se construyó el instrumento de recolección; para la selección se tomó de base 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: la entrevista etnográfica a los

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

¹ 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 que

propietarios/poseedores de las viviendas. Se escogió este instrumento porque la población objeto de estudio es mayormente étnica, con prácticas culturales y sociales que deben identificarse y reconocerse en el territorio. Esto facilita la identificación de la relación entre el recurso y los habitantes, mientras se recolectan datos demográficos, usos, prácticas culturales que desarrolla la población 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 le dan al agua los habitantes del barrio.

En la cuarta fase se aplicó el instrumento de recolección de información en la zona de estudio. Posteriormente, se procesó y analizó la información aplicando técnicas de muestreo probabilístico. Finalmente, se obtuvieron los resultados y se construyeron los documentos.

Área de estudio

Para la caracterización de los sistemas de abastecimiento de la ciudad de Quibdó se seleccionó el barrio Buenos Aires, porque 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, debido a 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 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 las colinas sin parámetros de desarrollo (Alcaldía de Quibdó, 2015).

El barrio Buenos Aires tiene una temperatura promedio anual de 28°C con una altitud sobre el nivel del mar de 43 metros y una precipitación promedio de 8 135 milímetros al año, siendo los meses de mayo a diciembre de mayor precipitación 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 creado significados en todos sus momentos históricos. Por eso, cada grupo humano tiene una relación con la cultura del agua que se evidencia en su simbolismo material e inmaterial (Trujillo et al., 2018). Para el caso de estudio en la ciudad de Quibdó, los pobladores desarrollan prácticas relacionadas con el vínculo y la cosmovisión de los pueblos afro hacia el recurso hídrico.

El principal uso del agua lluvia de los habitantes del barrio Buenos Aires de la ciudad de Quibdó es el consumo. Para esto se requiere hervir el agua o utilizar filtros. Otras actividades no necesitan de la potabilización, como aseo personal, aseo de la vivienda, lavado de ropa, recreación y suministro para plantas. También tiene un sentido particular de sanación para la medicina local, mediante los baños y las bebidas que se utilizan para curar enfermedades. El agua es un elemento comunicativo en el diario vivir de las personas y un tema de especial interés ya sea por la ausencia de las precipitaciones o su aumento, o la posibilidad de compartir el recurso hídrico.

Con relación a las prácticas de uso del agua lluvia, mayoritariamente las mujeres son quienes se dedican a su protección, recolección y uso, debido a que generalmente son las encargadas de la cocción de alimentos, actividades de aseo y demás prácticas. Sin embargo, el agua tiene un significado especial para todos los habitantes y por eso todos tienen prácticas de protección y cuidado en la gestión del agua lluvia. En temporadas de sequía estas prácticas 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 (el 15 %).

Los habitantes captan el agua lluvia a través de canales o cunetas que transportan el agua. Estas son hechas de policloruro de vinilo o de 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. En el diálogo con los habitantes ellos afirmaron que el agua se almacena

por un periodo de dos a tres meses, época en que se hace mantenimiento, limpieza y desinfección a los tanques.

Mediante los recorridos realizados se logró recolectar y analizar la información de 150 viviendas y se evidenciaron tres sistemas de almacenamiento utilizados: tanques elevados, tanques bajos y tanques subterráneos. En el total de hogares se identificaron 373 estructuras para el almacenamiento del agua; de estas, el 41,8 % (156) son para tanques elevados, el 40,2 % (150) para tanques bajos y el 17,9 % (67) para tanques subterráneos. Estos tanques de almacenamiento abarcan diversas presentaciones, desde 500 litros hasta 3 000 litros.

De los tanques bajos que existen, algunos son construidos en concreto con recubrimiento cerámico. Para estas estructuras de almacenamiento se requiere un

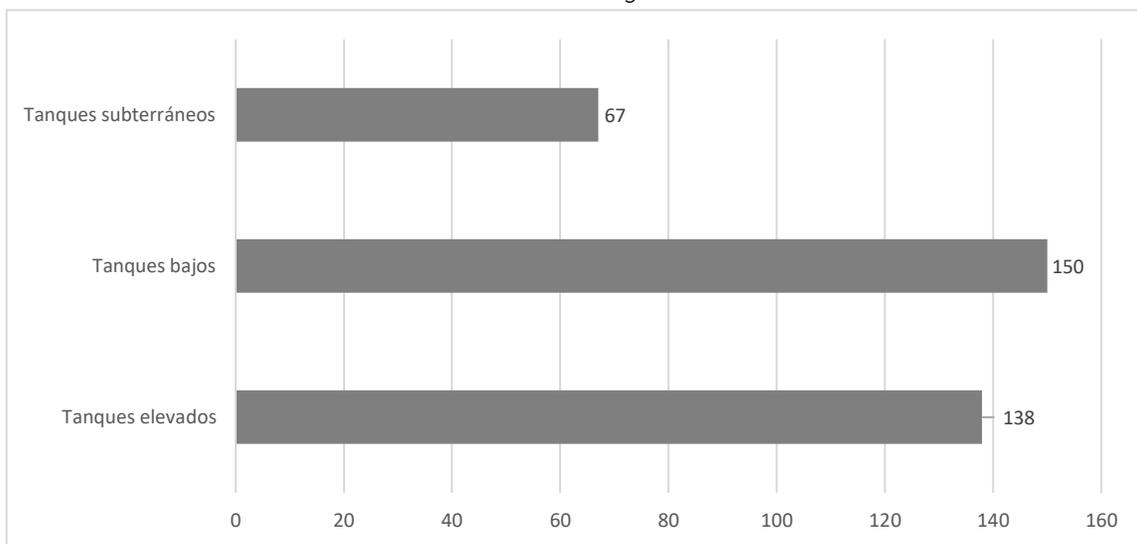
profesional que las adecúe o fabrique. Por eso, también se encontraron tanques bajos de policloruro de vinilo.

Igualmente, se identificaron tanques elevados. Para su utilización se requiere una adecuación previa, como la construcción de una estructura en concreto reforzado que lo soporte, además de la instalación de tuberías para la distribución. Este tipo de estructura tiene mayor costo que la de los tanques bajos.

Dada la ausencia del sistema de acueducto, las viviendas combinan sistemas de almacenamiento, lo que permite contar con mayor cantidad de agua; por ejemplo, se utilizan los tanques elevados como complemento de los tanques bajos. En general, 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



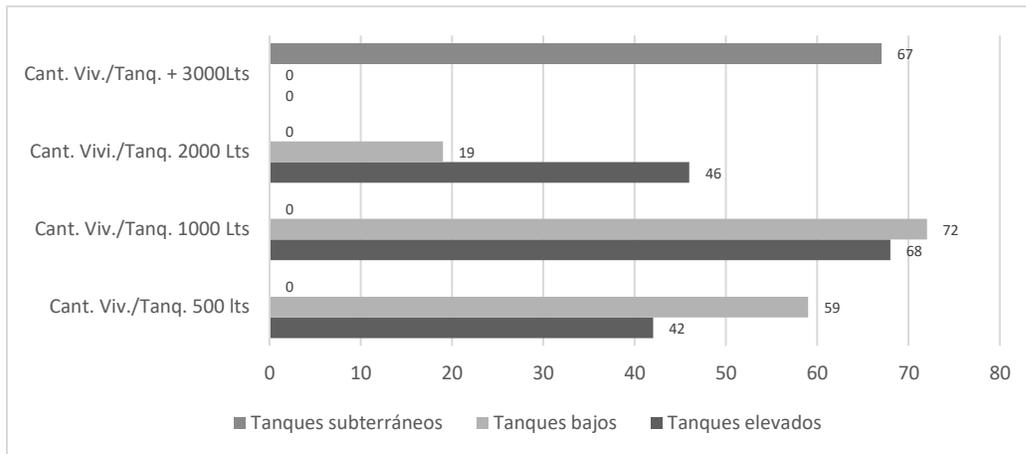
Fuente: elaboración propia

En la Figura 1 se relaciona la cantidad de estructuras de almacenamiento y su tipo, con lo que se obtiene que de las 150 viviendas seleccionadas del barrio Buenos Aires, 138 viviendas cuentan con tanques elevados, con un

promedio de dos (2) tanques por vivienda; 150 cuentan con al menos un (1) tanque bajo, y existen 67 viviendas que se abastecen a través de un (1) tanque subterráneo.

Figura 2.

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



Fuente: elaboración propia

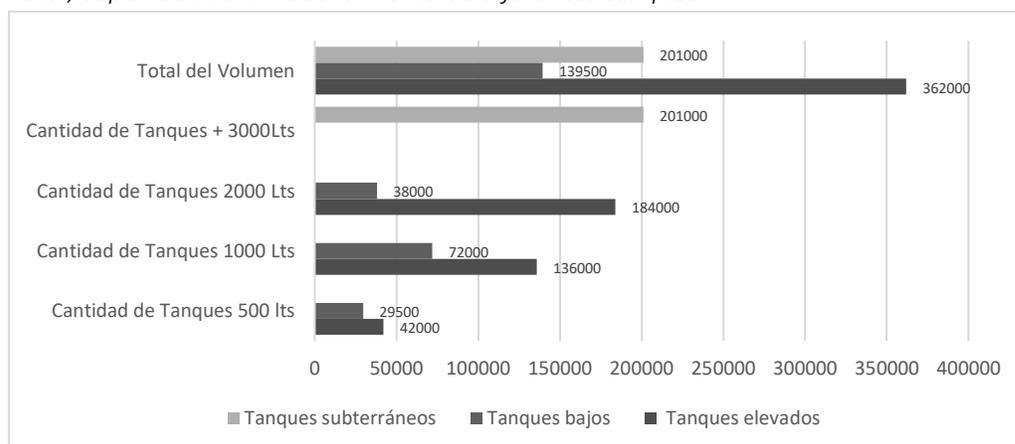
Con base en la información recolectada en las visitas domiciliarias, se evidencia que la mayor cantidad de las viviendas cuenta con tanques de 1 000 litros para el almacenamiento de agua, de los cuales son 68 tanques elevados y 72 tanques bajos. Seguidos de los tanques de 500 L con una distribución de 42 tanques elevados y 59 tanques bajos. Luego están los tanques de 2 000 L, de los cuales 46 son elevados y 19 son tanques bajos. Finalmente, los sistemas de almacenamiento superiores a 3 000 L se caracterizan por ser subterráneos con una distribución de 67. En ninguna de las viviendas visitadas se encontraron tanques elevados o tanques bajos superiores a 3 000 L. 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 a 1000 L son más usados debido a su disponibilidad en el mercado local. Asimismo, los tanques bajos son más utilizados por los reducidos costos en su instalación, adecuación y mantenimiento, en comparación con la instalación de tanques elevados.

Estos sistemas no convencionales abastecen a los hogares de una cantidad de agua que depende de los diversos usos que se le dé en los distintos hogares, así como de los mecanismos de ahorro que se implementen. Por este motivo, en la siguiente figura se detalla el volumen total que podría almacenar cada uno de los sistemas de almacenamiento:

Figura 3.

Total, capacidad de almacenamiento de diferentes tanques



Fuente: elaboración propia

En la anterior figura se puede observar que las estructuras con mayor capacidad de almacenamiento son los tanques elevados, debido a que hay mayor cantidad de unidades y permiten almacenar hasta un total de 362 000 L (para un total de 156 unidades). Están seguidos de los tanques subterráneos con un volumen de 201 000 L, aunque sean pocas estructuras (67 unidades) en comparación con los tanques bajos. Los tanques bajos permiten almacenar 139 500 L distribuidos en 150 tanques. Cabe aclarar que para los casos de tanques de 500 litros, las viviendas duplican la capacidad y alcanzan hasta un volumen de 1000 L. A partir de los diversos usos

que las viviendas le den a la reserva de agua, 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. Con ello 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

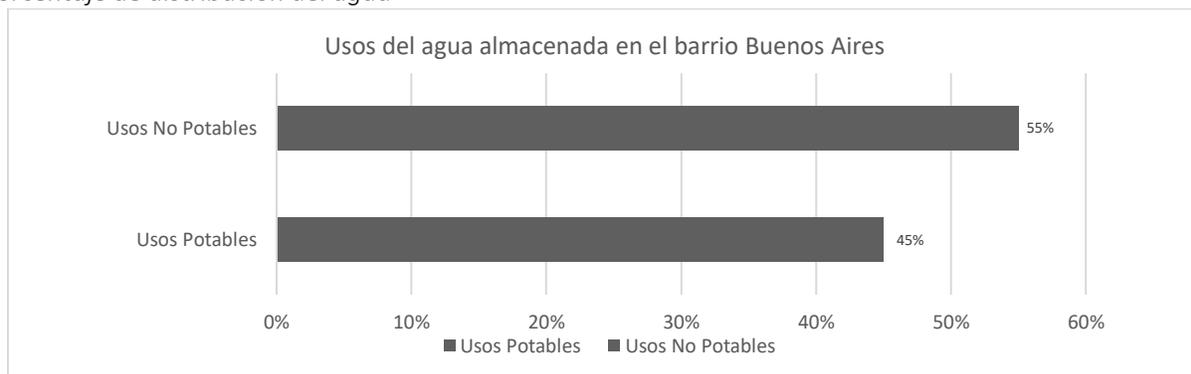
Fuente: elaboración propia

En la Tabla 1 se evidencia que un hogar promedio del barrio Buenos Aires consume 500 L en un lapso de 24 horas, lo que garantiza el abastecimiento de un día. Los principales usos de esta agua se distribuyen de la siguiente manera: el 55 % del volumen se distribuye en usos no potables, asociados a actividades de aseo (vivienda, personal), lavado de ropa, descarga de unidades sanitarias y mantenimiento de plantas, y solo el 45 % del agua restante es para usos que requieren una

mayor calidad (agua potable), que 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 para los habitantes (diarrea, cólera, disentería, fiebre tifoidea, poliomielitis, entre otros). 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 en la Tabla 1, se realizaron diversas combinaciones de sistemas de almacenamiento que incluían tanque de 1 000 L y tanque subterráneo de 3 000 L. Esto garantiza agua de lluvia para máximo cinco días, en el escenario de temporada de sequías o ausencia de lluvias, cuando no hay ingreso de agua al sistema. Sin embargo, para el escenario de temporada de lluvia, cuando los sistemas de almacenamiento tienen una

recarga constante de agua, se determinó que los lotes de las viviendas tienen un área promedio de 90m² y de ellos se tiene una cobertura superficial de captación (techo) de aproximadamente 72m² (6 m*12 m). Por lo general, esta cobertura se construye con láminas de zinc y puede llegar a obtener un caudal máximo de 1 444,2 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 tienen 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. Las viviendas que tienen una capacidad de 1 500 L, podrán llegar a tener suministro aproximado de tres días cuando cesen las precipitaciones. Por lo anterior, se demuestra que los sistemas de abastecimiento de agua lluvia tienen grandes posibilidades para el departamento del Chocó y para la ciudad de Quibdó en las zonas no conectadas a la red de acueducto. De igual manera, si en los hogares se establecen mecanismos de ahorro, estos volúmenes de agua pueden durar mucho más tiempo.

Discusión

El estudio del agua ha sido abordada repetidamente en los análisis metabólicos, por ser un recurso necesario e integrador en el sistema natural (Tobón, 2013), y los estudios de flujo de agua solo se han enfocado en 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 el departamento del Chocó.

En los últimos años el metabolismo social se ha considerado una herramienta para observar la compleja

dinámica de las ciudades con el objetivo de fomentar la sostenibilidad, desarrollar modelos circulares de uso de los recursos para otros procesos y ser un elemento estratégico en la toma de decisiones y construcción de políticas para la protección y conservación del recurso (John et al., 2019). Igualmente, se trata de identificar las dinámicas sociales a partir de la oferta y demanda de servicios públicos, en especial el agua, para intervenir en la expansión urbana y la resiliencia de la ciudad en relación con 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 de agua para el uso doméstico y personal, la cual oscila entre 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). Sin embargo, 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 toda la ciudad de Quibdó.

Los registros de precipitación de la ciudad de Quibdó son de especial interés, debido a su ubicación geográfica y su clima, lo que convierte a los sistemas de captación de

aguas lluvias en un potencial para la ciudad. Entre las ventajas de estos sistemas de captación se encuentra el bajo costo, la facilidad de acceso, entre otros.

Para los habitantes de Buenos Aires los usos destinados del agua lluvia son de tipo potable y no potable; sin embargo, para el consumo es necesario implementar otro tipo de medidas. Para garantizar el almacenamiento del agua se utilizan estructuras como tanques de almacenamiento en los que el agua permanece durante un tiempo determinado. Al respecto, Richards et al. (2021) consideran que el almacenamiento del agua lluvia aumenta la actividad microbiana, lo que puede generar alto riesgo de contaminación para el uso potable. Sin embargo, este planteamiento se puede controlar con la reducción en los tiempos de almacenamiento, el aumento de la frecuencia de limpieza y mantenimiento de las estructuras, y la utilización de desinfectantes como el cloro, que es de bajo costo. Entre los habitantes del barrio Buenos Aires, algunos 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 cuando las lluvias se disminuyen es necesario garantizar el agua para uso potable comprando agua empacada en presentaciones de 5 litros, lo cual implica un sobre costo económico para los pobladores del barrio.

Es necesario que, dadas las condiciones que presenta Quibdó respecto a la insuficiencia de cobertura de agua potable, se garantice el acceso a ella por medio de mecanismos alternativos, como el aprovechamiento de agua lluvia mediante los techos de las infraestructuras colectivas (colegios, juntas de acción local, centros de desarrollo integral). Estos pueden contar con procesos de desinfección como filtros de arena con carbón activado u otro tipo de desinfectante. También, es importante generar campañas de sensibilización a los habitantes de las áreas alejadas de Quibdó y es necesario que el gobierno nacional establezca una política de gestión hídrica en la que se involucren estos sistemas de captación como mecanismos de adaptación al cambio climático, porque reducen el consumo directo de agua proveniente de las fuentes hídricas, los costos y la utilización de energía eléctrica asociada 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 y su acceso, el cual puede ser utilizado para actividades de aseo y mantenimiento de áreas verdes e infraestructura.

Conclusiones

Con base en 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 pueden 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. Este sistema consiste en la captación de aguas lluvias por medio de la cubierta o techo, que posteriormente se conduce por tuberías hasta los tanques de almacenamiento.

De igual manera, existen tres tipos de estructuras de almacenamiento en el área de estudio: 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 que 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 los tanques elevados con los 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 diario a requerir es de 500 L/día, y que, dependiendo del tipo de estructura que se tenga, puede durar entre uno y cinco días sin ingreso de lluvias. Sin embargo, en temporada 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 aún es un tema que se debe definir. Aunque se utilizan sistemas convencionales como pozos sépticos, 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.

Otra conclusión a la que se llegó es que se debe garantizar la potabilización del agua por medio de técnicas como el hervido o el uso filtros, de lo contrario existe un alto riesgo de sufrir enfermedades gastrointestinales.

Finalmente, el metabolismo social se consolida entonces como una herramienta para la medición de la sostenibilidad del territorio, lo que permite la toma de decisiones y la formulación de políticas, en este caso en la ciudad de Quibdó. Por otra parte, este metabolismo evidencia la apropiación del recurso hídrico por los pobladores del territorio, con 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 o la 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 y 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>

Aguas del Atrato. (2020). *Cobertura de Servicios por parte de la empresa Aguas del Atrato*.

Alcaldía de Quibdó. (2002). *Diagnóstico del Esquema de Ordenamiento Territorial de la ciudad de Quibdó, 2001-2003*.

Alcaldía de Quibdó. (2015). *Diagnóstico Urbano*. http://munihuancayo.gob.pe/portal/upload/documentos/2015/gerencia_subgerencia/desarrollo_urbano/plan/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://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). La 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/10.2166/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 régimen 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 lluvia. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 10(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, cantón 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>