DOI: https://doi.org/10.26620/uniminuto.inventum.21.42.2026
ISSN 1909-2520 (Impreso), ISSN 2590-8219 (En línea)

Del permiso a la implementación: normativas, políticas públicas y barreras legales para la instalación de sistemas hídricos en la infraestructura escolar colombiana

*From permission to implementation: regulations, public policies and legal barriers to installing water systems in Colombian school infrastructure*S. A. Ruiz, A. L. Lazo y P. D. Arias

F. A. Patiño Oviedo[1], M. A. Salgado Ramos, L. V. Cardona Martínez, A. M. Martínez Rodríguez, A. N. Tapias Duarte, I. V. Rosso Riaño, J. A. Parra Sánchez

[1] Maestría en Cambio Climático y Desarrollo Sostenible, Corporación Universitaria Minuto de Dios – UNIMINUTO, Bogotá, Colombia.

Recibido: noviembre 18 de 2026 – Aceptado:

Resumen— La escasez de agua en los planteles educativos es un problema estructural en Colombia: el 38 % de los colegios no dispone de agua potable de forma constante y gratuita, cifra que asciende al 67 % en las sedes rurales. Eventos recientes, como el racionamiento de agua en Bogotá entre 2024 y 2025 asociado a El Niño, evidencian que el cambio climático agrava esta vulnerabilidad. Los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia (SAAL) son una alternativa técnicamente madura y una medida de adaptación coherente con los ODS 4 y 6, pero su presencia en la infraestructura escolar sigue siendo excepcional. Este artículo examina por qué una práctica legalmente permitida no ha llegado a los colegios. Se realizó una revisión de alcance según PRISMA-ScR, complementada con un análisis documental del marco normativo colombiano vigente a 2026; el corpus incluyó 26 documentos académicos, 9 informes técnicos y de política, 16 instrumentos normativos y 3 fuentes periodísticas de verificación. La evidencia internacional muestra que los SAAL escolares cubren desde cerca de un tercio hasta más del 70 % de la demanda no potable cuando se combinan con aparatos ahorradores, con retornos inferiores a tres años en planteles de alto consumo, aunque el bombeo incrementa el consumo energético. El análisis normativo indica que el Decreto 1076 de 2015 permite usar el agua lluvia del propio predio sin concesión, de modo que la barrera no es el permiso ambiental. Las barreras reales son la falta de una obligación específica para el parque escolar existente (la Resolución 0194 de 2025 solo alcanza obra nueva), la dispersión de competencias entre los sectores de ambiente, vivienda y educación, la ausencia de recursos para operación y mantenimiento y la inexistencia de un estándar nacional de calidad del agua lluvia para usos no potables. La comparación con los programas Cisternas nas Escolas (Brasil) y Escuelas de Captación (Ciudad de México) muestra que la escala es posible cuando existe un responsable público definido. Como recomendación central se propone el modelo Colegio Hídricamente Resiliente, articulado en cuatro pilares (normativo, financiero-institucional, técnico-sanitario y pedagógico-climático) y en una hoja de ruta de tres fases con indicadores verificables.

Palabras clave— aprovechamiento de agua lluvia, infraestructura escolar, política pública, normativa ambiental, adaptación al cambio climático, desarrollo sostenible, Colombia.

Abstract— Water scarcity in schools is a structural problem in Colombia: 38% of schools lack a constant, free supply of drinking water, rising to 67% in rural schools. Recent events, such as the 2024–2025 water rationing in Bogotá linked to El Niño, show that climate change aggravates this vulnerability. Rainwater harvesting systems (RWHS) are a technically mature alternative and an adaptation measure consistent with SDGs 4 and 6, yet they remain rare in school infrastructure. This article examines why a legally permitted practice has not reached schools. A scoping review following PRISMA-ScR was conducted, complemented by a documentary analysis of the Colombian regulatory framework in force in 2026; the corpus comprised 26 academic documents, 9 technical and policy reports, 16 regulatory instruments and 3 press sources used for verification. International evidence shows that school RWHS cover from about one third to over 70% of non-potable demand when combined with water-saving fixtures, with payback periods under three years in high-consumption schools, although pumping increases energy use. The regulatory analysis shows that Decree 1076 of 2015 allows rainwater falling on a property to be

[1]Producto derivado del proyecto de investigación "Normativas, políticas públicas y barreras legales para la instalación de sistemas hídricos en la infraestructura escolar Colombiana", apoyado por la Universidad Corporación Universitaria Minuto de Dios a través de la Maestría en Cambio Climático y Desarrollo Sostenible.

F. A. Patiño Oviedo[1], Uniminuto, Bogotá, Colombia, email: fabian.patino-o@uniminuto.edu.co
M. A. Salgado Ramos, Uniminuto, Bogotá, Colombia, email: manuel.salgado@uniminuto.edu.co.
L. V. Cardona Martínez, Uniminuto, Bogotá, Colombia, email: luis.cardona-ma@uniminuto.edu.co
A. M. Martínez Rodríguez, Uniminuto, Bogotá, Colombia, email: angie.martinez-rodr@uniminuto.edu.co
A. N. Tapias Duarte, Uniminuto, Bogotá, Colombia, email: angie.tapias@uniminuto.edu.co
I. V. Rosso Riaño, Uniminuto, Bogotá, Colombia, email: Irene.rosso@uniminuto.edu.co
J. A. Parra Sánchez, Uniminuto, Bogotá, Colombia, email: julli.parra@uniminuto.edu.co

Como citar este artículo: F. A. Patiño Oviedo[1], M. A. Salgado Ramos, L. V. Cardona Martínez, A. M. Martínez Rodríguez, A. N. Tapias Duarte, I. V. Rosso Riaño, J. A. Parra Sánchez Producto derivado del proyecto de investigación "Normativas, políticas públicas y barreras legales para la instalación de sistemas hídricos en la infraestructura escolar CocolombianaEntre Ciencia e Ingeniería, vol. xx, no. xx, pp. x-xx, enero-junio año. DOI: https://doi.org/xxxxxxxxxxxxxxxxxxx.

Attribution-NonCommercial 4.0 Intenational (CC By-NC 4.0)

used without a concession, so environmental permitting is not the obstacle. The real barriers are the lack of a specific obligation for existing school buildings (Resolution 0194 of 2025 applies only to new construction), fragmented responsibilities across the environment, housing and education sectors, the absence of funding for operation and maintenance, and the lack of a national rainwater quality standard for non-potable uses. Comparison with the Cisternas nas Escolas (Brazil) and Escuelas de Captación (Mexico City) programs shows that scale is achievable when a single public body is responsible. As a central recommendation, the Water-Resilient School model is proposed, structured around four pillars (regulatory, financial-institutional, technical-sanitary and pedagogical-climate) and a three-phase roadmap with verifiable indicators.

***Keywords*—** rainwater harvesting, school infrastructure, public policy, environmental regulation, climate change adaptation, sustainable development, Colombia.

I. INTRODUCCIÓN

De acuerdo con el monitoreo conjunto de la OMS y UNICEF, en 2025 el 22 % de los establecimientos educativos del mundo no contaba con un servicio básico de agua para beber, situación que afecta a 429 millones de niños en edad escolar; el mismo informe advierte que, a diferencia de otras regiones, la cobertura en América Latina retrocedió desde 2015 [1]. En el caso de Colombia, el diagnóstico es más severo de lo que sugieren los promedios. Según el Índice Welbin 2022, aplicado a 1.556 instituciones de 31 departamentos, el 38 % de los colegios no dispone de agua potable de forma constante y gratuita para beber y preparar alimentos, proporción que asciende al 67 % en las sedes rurales [2]. Ante esta realidad, la escasez escolar no puede entenderse solo como un asunto de redes de acueducto: es una condición estructural que interrumpe jornadas, compromete la alimentación escolar y expone a los estudiantes a riesgos sanitarios evitables.

A este déficit se suma la presión del cambio climático. La Tercera Comunicación Nacional de Colombia registró que entre 1971 y 2015 la temperatura media del país aumentó 0,8 °C [3], y los escenarios más recientes del IDEAM proyectan cambios en precipitación, temperatura y humedad relativa hasta 2100 con una resolución de 10 × 10 km, lo que confirma que los efectos no serán homogéneos entre regiones [4]. Un ejemplo cercano es el de Bogotá: tras el fenómeno de El Niño, el sistema Chingaza, que aporta cerca del 70 % del agua de la ciudad, descendió a niveles críticos y el Distrito impuso un racionamiento que se extendió del 11 de abril de 2024 al 12 de abril de 2025; durante ese periodo, la administración tuvo que garantizar el suministro a colegios, hospitales y jardines infantiles, en parte mediante carrotanques [5]. En este contexto, la escuela deja de ser solo un usuario del servicio de acueducto y pasa a ser un punto crítico de vulnerabilidad climática.

En este sentido, las cubiertas de las edificaciones escolares representan una superficie de captación considerable y casi siempre desaprovechada. Los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia (SAAL) pueden abastecer usos no potables (descarga de sanitarios, aseo y riego) que concentran buena parte del consumo de un plantel. Al revisar la literatura internacional, se encuentran ahorros de agua potable que oscilan entre el 20 % y el 65 % según el clima, la demanda y la capacidad de almacenamiento [6], [7]. Sin embargo, la viabilidad técnica de estos sistemas no se traduce de manera automática en su adopción. Entre el diseño de un tanque y su operación durante diez años median decisiones normativas, presupuestales e institucionales que rara vez se estudian con el mismo detalle que la hidrología de la cubierta.

Bajo esta perspectiva, el caso colombiano ilustra bien esa distancia. Desde 1978 la reglamentación ambiental permite al dueño, poseedor o tenedor de un predio servirse de las aguas lluvias que caen en él sin necesidad de concesión [8]; asimismo, desde 1997 la ley obliga a las entidades que otorgan licencias a exigir que los proyectos que consumen agua incluyan la oferta de aguas lluvias en sus estudios de abastecimiento y la implementen cuando sea técnica y económicamente viable [9]. Si bien es cierto que este marco parece favorable, la presencia de SAAL en la infraestructura educativa oficial sigue siendo excepcional y se documenta sobre todo en trabajos de grado y propuestas de diseño [10], [11]. Ante esta inquietud surge la pregunta que motiva este artículo: ¿por qué una práctica legalmente permitida, técnicamente madura y económicamente defendible no ha llegado a los colegios?

De acuerdo con lo anterior, el objetivo de este artículo es analizar las normativas, las políticas públicas y las barreras legales, institucionales y financieras que condicionan la instalación de sistemas de aprovechamiento de agua lluvia en la infraestructura escolar colombiana, mediante una revisión de alcance de la literatura y un análisis documental del marco normativo vigente, con el fin de proponer un modelo de gobernanza que permita superar dichas barreras. Para ello, se plantearon tres preguntas de investigación: (P1) ¿qué evidencia existe sobre el desempeño técnico y económico de los SAAL en edificaciones educativas?; (P2) ¿qué instrumentos normativos y de política pública regulan, habilitan o condicionan su instalación en Colombia?; y (P3) ¿qué barreras legales, institucionales y financieras explican la brecha entre la habilitación normativa y la implementación efectiva? Cabe destacar que el aporte del trabajo consiste en articular, en un mismo análisis, la evidencia técnica internacional con una lectura sistemática del marco jurídico colombiano, incluida la Resolución 0194 de 2025, que sustituyó la reglamentación nacional de construcción sostenible [12], y en proponer una tipología de barreras útil para formuladores de política, secretarías de educación y equipos de diseño.

II. MARCO CONCEPTUAL

A. El SAAL como sistema sociotécnico

Un SAAL convencional se compone de la superficie de captación, la conducción (canales y bajantes), un dispositivo de separación de primeras aguas, el almacenamiento y la red de distribución, que puede operar por gravedad o por bombeo [7]. Su desempeño depende de la relación entre la precipitación local, el área de cubierta y la demanda no potable. En lo referente a las edificaciones escolares, esa demanda tiene un patrón particular, concentrado en jornadas diurnas y sujeto a los periodos de vacaciones, lo que modifica el dimensionamiento frente al caso residencial [13], [14]. No obstante, reducir el SAAL a su componente hidráulico deja por fuera la pregunta de quién lo opera, quién paga su mantenimiento y bajo qué norma se garantiza la calidad del agua. Por consiguiente, este trabajo lo aborda como un sistema sociotécnico, en el que el artefacto técnico y el arreglo institucional que lo sostiene son igualmente determinantes.

B. Costos del ciclo de vida y financiamiento

La revisión sistemática de McGinnis et al. sobre agua, saneamiento e higiene (WASH) en escuelas propuso distinguir entre costos de capital o hardware, costos de software (capacitación, gestión y educación sanitaria) y costos recurrentes de operación y mantenimiento (O&M) [15]. Esta distinción resulta útil porque los tres tipos de costo suelen tener fuentes de financiamiento distintas: el hardware atrae inversión pública o de cooperación, mientras que el software y la O&M quedan a cargo de presupuestos escolares exiguos o de las propias comunidades. Del mismo modo, los autores encontraron que la información sobre costos de software es particularmente escasa y que la insuficiencia de financiamiento y

DOI: https://doi.org/10.26620/uniminuto.inventum.21.42.2026

presupuestación constituye una barrera central para la sostenibilidad de los programas [15]. En concordancia con lo anterior, Rieiro et al. llegaron a conclusiones convergentes en una evaluación global de los mecanismos de presupuestación de WASH escolar [16].

C. Tipología de barreras

Para efectos del análisis se adoptó una tipología de cinco categorías, construida a partir de la literatura revisada y ajustada durante la codificación: (i) barreras regulatorias, referidas a la ausencia, dispersión o carácter no vinculante de las normas; (ii) institucionales, asociadas a la fragmentación de competencias entre sectores y niveles de gobierno; (iii) financieras, vinculadas al costo inicial y, sobre todo, a la falta de recursos recurrentes para O&M; (iv) técnico-sanitarias, relacionadas con la calidad del agua, el consumo energético y la capacidad de diseño; y (v) socioculturales y pedagógicas, que comprenden la percepción del agua lluvia y la apropiación del sistema por parte de la comunidad educativa. En tal sentido, las categorías no son excluyentes: una misma barrera puede tener un origen regulatorio y una manifestación financiera.

D. Cambio climático, desarrollo sostenible e infraestructura escolar

Desde la perspectiva del desarrollo sostenible, el agua en la escuela no es un asunto accesorio. La Agenda 2030 incluye de manera explícita los servicios de agua, saneamiento e higiene escolares en la meta 4.a, cuyo indicador 4.a.1 mide la proporción de escuelas con acceso a agua potable básica, saneamiento básico separado por sexo e instalaciones para el lavado de manos [1], [17]; de forma implícita, el tema también hace parte de las metas 6.1 y 6.2 sobre acceso universal al agua y al saneamiento. En tal sentido, un colegio sin agua incumple a la vez un objetivo educativo y uno hídrico.

En el plano de la acción climática, la actualización de la Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC) de Colombia, aprobada en diciembre de 2020, incorporó por primera vez una comunicación de adaptación con metas sectoriales a 2030, entre ellas metas relacionadas con el recurso hídrico y el acceso a agua potable alineadas con el ODS 6 [18]. Del mismo modo, la Ley 1931 de 2018 creó los Planes Integrales de Gestión del Cambio Climático sectoriales y territoriales como instrumentos para incorporar la adaptación en las decisiones públicas [19]. Bajo esta perspectiva, el SAAL escolar puede entenderse como una medida de adaptación basada en infraestructura: diversifica las fuentes de suministro, reduce la dependencia de un sistema centralizado vulnerable a sequías y, al retener parte de la escorrentía de las cubiertas, contribuye a amortiguar los picos de lluvia [7]. Su doble función, que consiste en mitigar la escasez en épocas secas y aliviar el drenaje en épocas húmedas, lo vuelve particularmente pertinente en un país donde la variabilidad asociada a El Niño y La Niña es cada vez más marcada.

III. METODOLOGÍA

A. Diseño del estudio

Se realizó una revisión de alcance (scoping review) siguiendo el marco de Arksey y O'Malley [20] y la lista de verificación PRISMA-ScR [21], complementada con un análisis documental del marco normativo colombiano. Se optó por una revisión de alcance, y no por una revisión sistemática con metaanálisis, porque el objetivo era cartografiar un campo heterogéneo, compuesto por estudios de ingeniería, análisis financieros, normas y evaluaciones pedagógicas, más que agregar estadísticamente un único efecto.

B. Fuentes y criterios de selección

El corpus académico se construyó con búsquedas en Scopus, Web of Science, SciELO y Redalyc, así como en repositorios institucionales colombianos, para el periodo 2010–2026. Se combinaron términos en inglés, español y portugués mediante operadores booleanos, por ejemplo: ("rainwater harvesting" OR "aprovechamiento de agua lluvia" OR "aproveitamento de água de chuva") AND (school* OR colegio* OR "institución educativa" OR escola*), y ("WASH in schools") AND (cost* OR financ* OR budget*). Se incluyeron estudios empíricos o de simulación en edificaciones educativas, revisiones sobre SAAL en edificaciones y estudios sobre financiamiento o efectos pedagógicos de la infraestructura hídrica escolar. Por el contrario, se excluyeron los trabajos centrados exclusivamente en vivienda unifamiliar sin aporte metodológico transferible y los documentos sin datos verificables.

Por otra parte, el corpus normativo se obtuvo de fuentes oficiales (SUIN-Juriscol y gestores normativos del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y de la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico). Comprendió leyes, decretos, resoluciones y normas técnicas vigentes a noviembre de 2026 que mencionan de manera expresa las aguas lluvias, el uso eficiente del agua en edificaciones o la infraestructura escolar. Como referente comparado se incluyó la norma brasileña ABNT NBR 15527:2019 [22]. En líneas generales, el corpus final quedó integrado por 26 documentos académicos, 9 informes técnicos y documentos de política (monitoreo internacional, guías sanitarias, comunicaciones nacionales de cambio climático, NDC y evaluaciones de programas), 16 instrumentos normativos y 3 fuentes periodísticas empleadas únicamente para verificar cifras de programas públicos, además de 2 referencias metodológicas.

C. Análisis

De cada estudio se extrajeron el contexto geográfico, la tipología de edificación, el porcentaje de demanda cubierta o de ahorro de agua potable, los indicadores económicos y las limitaciones reportadas. A su vez, cada instrumento normativo se codificó según su jerarquía, su autoridad emisora, su ámbito de aplicación, su carácter obligatorio o voluntario y su relación con la infraestructura educativa. Una vez concluida la extracción, los hallazgos se asignaron a las cinco categorías de barreras descritas en la sección II-C. La extracción y la codificación fueron realizadas por un solo investigador, sin un segundo revisor independiente, lo que constituye una limitación del estudio. Para reducir este riesgo, cada cifra se contrastó con la fuente disponible (texto completo, resumen publicado por la revista o registro del repositorio institucional); en los casos en que solo se tuvo acceso a una fuente secundaria, como notas de prensa sobre informes oficiales, así se indica en las referencias.

IV. RESULTADOS

A. Desempeño técnico y económico de los SAAL escolares (P1)

Antes de evaluar la oferta pluvial conviene dimensionar la demanda. El consumo escolar es muy variable: en 100 escuelas públicas del sur de Brasil, Antunes y Ghisi registraron valores que iban de 0,81 a 35,43 L/estudiante/día [13], mientras que en 26 escuelas estatales de Joinville el promedio fue de 111,45 m³ por escuela al mes y de 8,833 L/estudiante/día [23]. En la misma línea, Flores y Ghisi propusieron un sistema de referencia (benchmarking) para escuelas públicas de Florianópolis que permite identificar planteles con consumos anómalos, asociados a fugas o submedición [24]. De estos datos se desprende una consecuencia práctica: sin una línea base de consumo medida, cualquier dimensionamiento de un SAAL escolar descansa sobre supuestos frágiles, y en Colombia esa línea base rara vez está disponible.

La Tabla I resume los estudios empíricos y de simulación sobre edificaciones educativas incluidos en la revisión. De estos datos se desprende que el rasgo más consistente es la dispersión de resultados: el porcentaje de demanda cubierta varía con el régimen de lluvias, el área de cubierta por estudiante y la configuración del sistema, de

DOI: https://doi.org/10.26620/uniminuto.inventum.21.42.2026

modo que ningún valor puede extrapolarse sin un balance hídrico local.

Tabla I. Matriz de estudios clave seleccionados sobre SAAL en edificaciones educativas

Referencia / Autor(es)	Año	Base / Indexación	Citas (Google Scholar, nov. 2026)	Enfoque / Tema principal de la investigación
Ng, Shafie, Mohd, Hassan, Ayal y Desaleng. [14]	2011	Enviromental Scopus	45	Evaluación de prácticas ecológicas: iniciativas de Universiti Sains Malaysia (USM) para lograr un comportamiento sensible al cambio climático en las escuelas
Antunes y Ghisi [13]	2020	Environ. Dev. Sustain. / Springer, Scopus	47	Consumo de agua y energía en 100 escuelas públicas del sur de Brasil; retorno de la captación pluvial de 20 a 36 meses.
Pandyaswargo, Andante, Azmi, Darminsyah y Onoda [25]	2024	Enviromental, Scopus	62	Evaluación financiera de los tratamientos de aguas subterráneas y pluviales para el suministro de agua potable escolar
Chen et al. [26]	2025	Applied Sciences / MDPI, Scopus	2	Estrategias integradas de ahorro hídrico (captación pluvial y techos verdes) en 2 centros escolares de Portugal: hasta 60 % menos de demanda potable.
Beqaj et al. [27]	2022	Eur. J. Eng. Technol. Res. / acceso abierto	10	Diseño de un sistema de captación pluvial en un jardín infantil de Tirana (Albania), con 370 m² de cubierta.
Palacio Castañeda [10]	2010	Gestión y Ambiente / Universidad Nacional de Colombia	42	Propuesta de aprovechamiento de agua lluvia en la IE María Auxiliadora, Caldas (Antioquia), para sanitarios y lavaescobas.

Al hacer referencia a estos estudios, tres resultados merecen atención. En primera instancia, se analiza el potencial de ahorro de agua potable en colegios mediante captación pluvial para descargas sanitarias y limpieza, evidenciando reducciones superiores al **50 %–65 %** en la demanda de agua potable de red cuando se adecua de manera óptima el tamaño del tanque según la matrícula escolar. [14], y en Portugal el mejor escenario integró captación y grifería de alta eficiencia [26]. En segundo lugar, la escala importa: el análisis de 100 escuelas públicas del sur de Brasil mostró que los periodos de retorno más cortos se obtienen en planteles de alto consumo [13], lo que sugiere priorizar las sedes grandes o con mayor matrícula. Por último Pandyaswargo, Andante, Azmi, Darminsyah y documentaron un caso de estudio que obtiene principalmente su suministro de agua limpia a partir de agua subterránea bombeada y la trata con tecnología de ósmosis inversa. Este estudio analizó los posibles ahorros financieros al agregar combinaciones de un sistema de recolección de agua de lluvia un sistema de adsorción–filtración, un sistema de desinfección por radiación ultravioleta y energía solar fotovoltaica al sistema de bombeo de agua subterránea existente en una escuela de estudio de caso. Utilizamos datos locales que abarcan factores como la intensidad de las precipitaciones, la inversión en instalaciones, los costos de operación y mantenimiento en la evaluación del desempeño financiero para cada escenario, empleando métodos como el valor actual neto (VAN), la relación beneficio–costo (BCR) y el período de recuperación [25], hallazgo coherente con la revisión de Vieira et al., según la cual los SAAL tienden a ser más intensivos en energía que el acueducto convencional, aunque un diseño optimizado puede reducir esa brecha [28]. Siguiendo esta línea, la revisión reciente de Sebben Oneda y Ghisi confirma que el nexo agua-energía en los SAAL de edificaciones sigue insuficientemente explorado [29]. En contextos de sequía severa, el interés por estos sistemas se intensifica: tras la sequía que afectó a Ciudad del Cabo entre 2015 y 2018, Lepota y Armitage evaluaron la viabilidad del aprovechamiento pluvial en los campus de la Universidad de Ciudad del Cabo como fuente para usos que no requieren agua tratada a estándar potable [30], lo que muestra cómo las crisis hídricas suelen ser el detonante de la planeación institucional.

En Colombia, por su parte, la evidencia es todavía incipiente y se concentra en propuestas de diseño. El trabajo de Palacio Castañeda en Caldas (Antioquia) mostró que, en un clima con lluvias distribuidas, el sistema podía cubrir los sanitarios y lavaescobas durante la mayor parte del año [10]; otros estudios en campus universitarios y en vivienda de alto consumo aportan información útil sobre calidad del agua y desempeño ambiental [11], [31]. Lo que falta, sobre todo, son evaluaciones ex post de sistemas en funcionamiento en colegios oficiales, con datos medidos de consumo, calidad y costos de mantenimiento.

B. Marco normativo colombiano (P2)

La Tabla II sintetiza los instrumentos normativos identificados. De su lectura conjunta se desprende una primera conclusión: Colombia no carece de normas sobre aguas lluvias; lo que le falta es una norma que vincule de forma explícita esas disposiciones con la infraestructura educativa y asigne responsables.

Tabla II. Instrumentos normativos colombianos relacionados con el aprovechamiento de aguas lluvias

Instrumento	Disposición relevante	Implicación para colegios
Decreto 1076 de 2015 [8]	Uso de aguas lluvias sin concesión mientras discurren por el predio; se exige concesión si forman cauce o salen del inmueble.	Habilita el SAAL sin trámite ambiental en la mayoría de los casos.
Ley 373 de 1997 [9]	Reúso obligatorio (art. 5); inclusión de la oferta de aguas lluvias en nuevos proyectos si es viable (art. 9).	Mandato general, sin reglamentación específica para edificaciones escolares.

DOI: https://doi.org/10.26620/uniminuto.inventum.21.42.2026

Instrumento	Disposición relevante	Implicación para colegios
Decreto 1090 de 2018 [32]	Define el uso eficiente del agua (incluye aguas lluvias) y el PUEAA de los concesionarios.	Aplica a concesionarios; los colegios conectados a acueducto quedan por fuera.
Resolución 0330 de 2017 (RAS) [33]	Reglamento técnico del sector; incorpora sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS).	Orientada a prestadores y redes, no a instalaciones internas.
Resolución 0194 de 2025 [12]	Sustituye la Res. 0549 de 2015; fija metas mínimas de ahorro de agua y energía en edificaciones nuevas según su uso.	Obligatoria solo para obra nueva licenciada; no alcanza el parque escolar existente.
NTC 1500 [34]	Código colombiano de fontanería.	Referente de diseño hidrosanitario; carácter técnico voluntario.
NTC 4595:2025 [35]	Planeamiento y diseño de instalaciones y ambientes escolares.	Referente del MEN para diseño escolar; exigible cuando un contrato o reglamento la adopta.
Ley 1931 de 2018 [19]	Planes integrales de gestión del cambio climático sectoriales y territoriales.	Abre la vía para incluir la adaptación hídrica escolar en los PIGCC.

Desde el punto de vista ambiental, la habilitación es clara. El artículo 2.2.3.2.16.1 del Decreto 1076 de 2015 permite servirse de las aguas lluvias que caen en el predio sin concesión, y solo exige ese permiso cuando las aguas forman un cauce natural que atraviesa varios predios o salen del inmueble [8]. Por lo tanto, para un colegio que capta agua de su propia cubierta, la barrera no es el permiso ambiental, como a veces se supone. Dentro de la misma línea, el Decreto 1090 de 2018 refuerza esta orientación al incluir expresamente el uso de aguas lluvias dentro de las acciones de uso eficiente y ahorro del agua [32].

El problema aparece al pasar del permiso a la obligación. El artículo 9 de la Ley 373 de 1997 condiciona la implantación del SAAL a que sea técnica y económicamente viable [9], pero no define quién evalúa esa viabilidad ni con qué metodología, de manera que la cláusula funciona más como recomendación que como mandato. En lo referente a la construcción sostenible, la Resolución 0549 de 2015 estableció porcentajes mínimos de ahorro por tipo de edificación [36], y Bogotá llegó a desarrollar un protocolo con métodos de cumplimiento específicos para colegios [37]. Posteriormente, la Resolución 0194 de 2025 sustituyó a la 0549, actualizó esas metas y endureció el seguimiento [12]. Su alcance, no obstante, se limita a las edificaciones nuevas, lo que deja por fuera la mayor parte del parque escolar existente, que es precisamente donde se concentran las carencias.

Desde otra perspectiva, en el plano técnico la normativa de diseño escolar y la de fontanería operan como referentes más que como obligaciones. La NTC 4595, actualizada en 2025, es el documento de referencia del Ministerio de Educación Nacional para el planeamiento de ambientes escolares [35], pero las normas técnicas colombianas son de adopción voluntaria salvo que un reglamento o un contrato las haga exigibles. A diferencia de Brasil, que cuenta desde 2007 con una norma específica para el aprovechamiento de agua de lluvia en coberturas, revisada en 2019 y con requisitos de calidad para usos no potables [22], Colombia no dispone de un estándar nacional equivalente. Esta situación traslada al diseñador, y en última instancia al rector, la responsabilidad de definir parámetros de calidad sin respaldo normativo.

C. Barreras para la implementación (P3)

La Tabla III organiza las barreras identificadas según la tipología propuesta. A continuación, se presenta una lectura de las más relevantes para el contexto colombiano.

Tabla III. Tipología de barreras para la instalación de SAAL en colegios

Tipo	Manifestación	Fuente
Regulatoria	Mandatos generales sin reglamentación escolar; obligatoriedad limitada a obra nueva; sin norma nacional de calidad de agua lluvia para usos no potables.	[9], [12], [22]
Institucional	Competencias repartidas entre ambiente, vivienda y educación; ningún actor responde por la O&M del sistema.	[32], [35]
Financiera	Se financia el hardware, no la O&M ni el software; desconexión entre el presupuesto agregado y la realidad del plantel.	[15], [16], [38]
Técnico-sanitaria	Calidad del agua, mayor intensidad energética del bombeo y escasez de evaluaciones ex post. Y la evaluación financiera de los tratamientos de agua escolar.	[25], [28], [29]
Sociocultural	Percepción del agua lluvia como contaminada; baja apropiación si no hay integración curricular.	[39], [40]

En primer lugar, las barreras regulatorias e institucionales están estrechamente ligadas. Las normas que habilitan el aprovechamiento pluvial provienen del sector ambiental; las que fijan metas de ahorro, del sector vivienda; y las que orientan el diseño escolar, del sector educación [8], [12], [35]. Ninguna de ellas asigna a un actor concreto la responsabilidad de operar y mantener el sistema una vez construido. En la práctica, esa responsabilidad recae en el rector o en la entidad territorial certificada, sin lineamientos técnicos ni recursos asociados.

En segundo lugar, la barrera financiera es, según la literatura internacional, la más persistente. McGinnis et al. y Rieiro et al. coinciden en que gobiernos y cooperantes financian con relativa facilidad la construcción, mientras que los costos recurrentes, como la limpieza de cubiertas y filtros, la reposición de bombas o los análisis de calidad, carecen de una fuente estable [15], [16]. Es por esto que el resultado típico es un sistema que funciona bien durante los primeros años y se deteriora después. Al respecto, en el contexto latinoamericano, Gómez Álvarez y Maldonado Bernal observaron que los aumentos del presupuesto educativo no se reflejan de manera uniforme en las condiciones materiales que perciben los estudiantes [38], lo que apunta a un problema de focalización y no solo de monto.

Otro hecho a considerar es una barrera de carácter económico-regulatorio que la literatura revisada no aborda de forma explícita para el caso colombiano y que aquí se plantea como hipótesis de trabajo. Dado que la factura de acueducto incluye un cargo fijo además del cargo por consumo [41], el ahorro que produce un SAAL afecta solo la porción variable de la tarifa. Si a esto se suma que el servicio de alcantarillado suele liquidarse con base en el consumo de acueducto medido, el agua lluvia que termina en el alcantarillado tras la descarga de sanitarios no queda registrada, situación cuyo tratamiento tarifario merecería una aclaración regulatoria. Ambos

elementos inciden en la rentabilidad percibida del sistema y deberían examinarse en estudios posteriores con datos de facturación reales.

D. Co-beneficios pedagógicos

La infraestructura hídrica escolar tiene, además, una dimensión que no aparece en los análisis de costo-beneficio: su valor como recurso didáctico. En Corea del Sur, un programa de educación sobre agua lluvia aplicado a estudiantes de secundaria mejoró su conciencia y sus actitudes frente al recurso y ayudó a desmontar la idea de que la lluvia es, por definición, un contaminante [39]. Del mismo modo, en Estados Unidos la unidad de ciencias "Raising the Green Roof", diseñada alrededor de un techo verde, llevó a estudiantes de cuarto grado a integrar progresivamente sistemas sociales e hidrológicos en sus modelos explicativos [40]. En atención a lo citado, un SAAL visible, con tanques y canales que los estudiantes puedan medir y monitorear, puede contribuir también a resolver la barrera sociocultural: cuando la comunidad educativa entiende el sistema, es más probable que lo cuide.

E. Calidad del agua y gestión del riesgo sanitario

Uno de los argumentos más frecuentes contra los SAAL escolares es el riesgo sanitario, y la literatura indica que la preocupación no es infundada, aunque sí manejable. Ahmed et al. advirtieron que el principal problema del agua lluvia captada en cubiertas es la presencia potencial de patógenos microbianos cuando se usa sin tratamiento [42], y la revisión global de Hamilton et al. concluyó que la presencia de bacterias indicadoras fecales y de patógenos plantea dudas sobre su aceptabilidad tanto para usos potables como no potables, por lo que recomendó desarrollar marcos para priorizar los factores de riesgo, el tratamiento y el mantenimiento [43].

El material de la cubierta también importa. Mendez et al. compararon cubiertas de teja asfáltica, metal, teja de concreto, techos fríos y techos verdes, y encontraron que el agua captada en cualquiera de ellas requiere tratamiento para cumplir estándares de agua potable o de uso no potable; las cubiertas metálicas presentaron menores concentraciones de bacterias indicadoras fecales [44]. El caso de las escuelas primarias de la costa de Bangladesh ilustra el escenario de mayor riesgo: en 38 escuelas evaluadas, el agua lluvia era la principal fuente de agua para beber (63 %), cerca de la mitad de las fuentes se clasificó como de alto riesgo por su contenido de E. coli, y los autores concluyeron que la desinfección en el punto de uso y el mantenimiento eran necesidades urgentes [45].

En el caso colombiano, la Resolución 2115 de 2007 fija las características y la vigilancia del agua para consumo humano [46], pero no existe un estándar equivalente para el agua lluvia destinada a usos no potables, como sí ocurre en Brasil [22]. El enfoque de gestión preventiva del riesgo que promueve la OMS en sus guías para la calidad del agua de consumo [47] ofrece, sin embargo, un camino intermedio: definir el uso, identificar los peligros y establecer barreras múltiples. A partir de la evidencia revisada se propone la Tabla IV como síntesis operativa para planteles educativos.

Tabla IV. Usos del agua lluvia en colegios, nivel de exposición y medidas mínimas (elaboración propia a partir de la literatura revisada)

Uso	Exposición	Medidas mínimas sugeridas
Descarga de sanitarios y orinales	Baja	Separador de primeras aguas, filtro de hojas, red independiente rotulada, limpieza periódica de cubierta y tanque [7], [44].
Aseo de pisos y riego	Baja a media	Lo anterior, más restricción de uso por estudiantes y control visual de turbiedad [43].
Lavado de manos	Media a alta	Filtración y desinfección con monitoreo bacteriológico; requiere un criterio sanitario explícito [42], [47].
Consumo humano y alimentación escolar	Alta	No recomendable sin potabilización y vigilancia conforme a la Res. 2115 de 2007 [45], [46].

Bajo esta perspectiva, la recomendación para el contexto escolar colombiano es clara: el SAAL debe orientarse en primera instancia a usos de baja exposición, con redes separadas y un plan de mantenimiento documentado. Avanzar hacia usos de mayor contacto exige un respaldo normativo y de vigilancia que hoy no existe.

F. Experiencias de política pública a escala en América Latina

Al indagar acerca de programas públicos que hayan llevado los SAAL a las escuelas de manera masiva, sobresalen dos experiencias latinoamericanas, cuyos rasgos se comparan en la Tabla V junto con el caso colombiano.

En Brasil, el Programa Cisternas nas Escolas instala cisternas de placa para almacenar agua lluvia en escuelas rurales del semiárido [48]. Sobral et al. evaluaron sus efectos con datos longitudinales de escuelas rurales del periodo 2007–2016 y modelos de diferencias en diferencias ponderados por puntaje de propensión; encontraron mejoras en la infraestructura básica y una reducción de la tasa de abandono en la educación primaria [48]. Cabe destacar que se trata de una de las pocas evaluaciones de impacto educativo de una política de acceso al agua en escuelas, y que sus resultados sugieren que el beneficio de un SAAL escolar trasciende el ahorro en la factura.

En México, la Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México impulsa desde 2019 el programa Cosecha de Lluvia; solo en 2022 se instalaron 21.454 nuevos sistemas de captación en viviendas [49]. A partir de esa experiencia surgió en 2023 el proyecto Escuelas de Captación, implementado inicialmente en la alcaldía Milpa Alta y ampliado en 2024 al resto de la ciudad [50]; de acuerdo con la información divulgada, desde diciembre de 2023 se habían instalado 2.338 sistemas en escuelas públicas, con una captación estimada de 918 millones de litros al año [51]. Lo notable del caso no es solo la escala, sino que una entidad ambiental asumió la instalación en planteles educativos, con lo cual resolvió en la práctica la fragmentación institucional que en Colombia aparece como barrera.

En Colombia, en cambio, las iniciativas existentes tienen un origen filantrópico o departamental. El programa Agua para la educación, educación para el agua de la Fundación EPM ha llevado soluciones de agua potable a 811 comunidades educativas rurales desde 2011, con 96.804 estudiantes beneficiados [52], y en Antioquia la caracterización de la Secretaría de Educación identificó 544 sedes oficiales sin agua, con 37.920 estudiantes afectados; el 24,6 % de las sedes no tenía acueducto y el 69,7 % carecía de alcantarillado [53]. Estas acciones son valiosas, pero dependen de convocatorias y voluntades puntuales, no de una política nacional con metas y presupuesto.

Tabla V. Comparación de modelos de implementación de SAAL en escuelas

Rasgo	Brasil	Ciudad de México	Colombia
Instrumento	Programa Cisternas nas Escolas [48]	Proyecto Escuelas de Captación, derivado de Cosecha de Lluvia [50]	Programas filantrópicos y departamentales [52], [53]
Entidad responsable	Gobierno federal	Secretaría del Medio Ambiente [50]	Sin responsable nacional definido
Población objetivo	Escuelas rurales del semiárido [48]	Escuelas públicas de la ciudad [51]	Sedes rurales priorizadas por convocatoria
Evidencia de impacto	Evaluación cuasiexperimental 2007–2016 [48]	Evaluaciones internas del programa [49]	Sin evaluaciones de impacto publicadas
Lección para Colombia	Tecnología simple y evaluación rigurosa	Un solo responsable con escala urbana	Necesidad de pasar de proyectos a política

G. Síntesis analítica: madurez de la evidencia por dimensión

Para cerrar los resultados, la Tabla VI cruza las cinco dimensiones de análisis con la solidez de la evidencia disponible y con el estado de la regulación en Colombia. El ejercicio, de elaboración propia, permite visualizar dónde está el conocimiento y dónde está la brecha.

Tabla VI. Madurez de la evidencia y de la regulación por dimensión (elaboración propia)

Dimensión	Evidencia internacional	Evidencia en Colombia	Regulación en Colombia
Técnica (cobertura y ahorro)	Alta [6], [13], [14], [26]	Baja: propuestas y trabajos de grado [10], [11]	Media: Res. 0194/2025 para obra nueva [12]
Económica y financiera	Media [15], [16], [25]	Muy baja	Baja: sin línea de O&M
Sanitaria	Media [42]–[44]	Muy baja	Baja: solo agua potable [46]
Institucional y de política	Media [48], [50]	Baja [52], [53]	Habilitante, no vinculante [8], [9]
Pedagógica	Media [39], [40]	Muy baja	Inexistente

En líneas generales, la tabla muestra un patrón consistente: la evidencia técnica es la más madura y la regulación ambiental la más favorable, mientras que las dimensiones financiera, sanitaria y pedagógica presentan los mayores vacíos, tanto de conocimiento como de norma. De lo anterior se desprende que el problema de los SAAL escolares en Colombia no es de ingeniería, sino de gobernanza.

V. DISCUSIÓN

De acuerdo con los objetivos planteados, los resultados permiten caracterizar el caso colombiano como una brecha de implementación más que como un vacío normativo. El marco jurídico permite captar y usar el agua lluvia, la evidencia técnica respalda su viabilidad en edificaciones educativas y la política de construcción sostenible ya reconoció a los colegios como una categoría de edificación con metas de ahorro [36], [37]. Lo que no existe es el eslabón que conecta esas piezas: una regla que obligue a considerar el SAAL en la intervención de sedes existentes, una fuente de recursos para su operación y un estándar técnico que dé seguridad a quien lo diseña.

La comparación internacional refuerza esta lectura. En Europa, la revisión de Wartalska et al. identifica a Alemania, Austria y Suiza como los países donde los SAAL han ganado mayor difusión, y subraya que su aplicación a gran escala todavía exige resolver aspectos de calidad, tratamiento y requisitos de uso [54]. En Brasil, la NBR 15527 no ha estado exenta de debate sobre el rigor de sus requisitos, pero ha dado a proyectistas y autoridades un lenguaje técnico común [22]. Más cerca, Brasil y Ciudad de México demuestran que la escala es posible cuando un programa público asume la responsabilidad de instalar y acompañar los sistemas [48], [50]. En este orden de ideas, la lección para Colombia no es copiar un modelo concreto, sino reconocer que la habilitación jurídica, por sí sola, no genera adopción.

Al tratar el tema desde la agenda climática, la brecha resulta aún más visible. La NDC de 2020 y la Ley 1931 de 2018 ofrecen el marco para que los sectores incorporen medidas de adaptación [18], [19], pero la infraestructura educativa no aparece todavía como un frente explícito de adaptación hídrica. La experiencia de Bogotá en 2024, cuando el suministro a colegios tuvo que garantizarse de manera excepcional, incluso con carrotanques, durante el racionamiento [5], muestra el costo de reaccionar a la emergencia en lugar de preparar los planteles con antelación. Desde otra perspectiva, cada sede con un SAAL operativo reduce la presión sobre el sistema centralizado justo en los periodos en que este es más frágil.

Con base en lo anterior, la respuesta no puede ser una suma de medidas aisladas. Las barreras están conectadas entre sí: una norma que no asigna responsables genera un sistema sin presupuesto, y un sistema sin presupuesto se deteriora y refuerza la desconfianza sanitaria. Por lo tanto, las soluciones también deben estarlo. Esa es la lógica de la recomendación que se presenta en la sección VI.

Por último, conviene señalar las limitaciones del estudio. La revisión de alcance no pretende ser exhaustiva y la codificación fue realizada por un solo investigador. Además, buena parte de la evidencia colombiana procede de propuestas y trabajos de grado, no de evaluaciones de sistemas en operación, y el análisis tarifario planteado en la sección IV-C requiere validación empírica. Futuras investigaciones podrían centrarse en monitorear sistemas instalados en colegios oficiales de distintas regiones climáticas y en estimar el costo real de su operación a lo largo de diez años o más.

VI. RECOMENDACIÓN: MODELO COLEGIO HÍDRICAMENTE RESILIENTE

La recomendación central de esta revisión se formula como un modelo de gobernanza y no como una lista de medidas. Su principio rector es sencillo: ningún SAAL debería instalarse en un colegio oficial sin un responsable identificado, sin un presupuesto de operación y sin un uso pedagógico definido. El modelo se organiza en cuatro pilares, cada uno de los cuales responde a una de las barreras identificadas en la Tabla III, y se complementa con criterios de focalización y una hoja de ruta por fases (Fig. 2).

DOI: https://doi.org/10.26620/uniminuto.inventum.21.42.2026

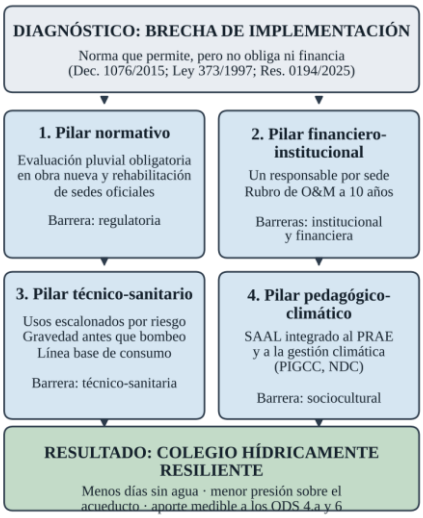


Fig. 2. Modelo Colegio Hídricamente Resiliente: de la brecha de implementación a la resiliencia hídrica escolar. Elaboración propia.

A. Pilar normativo: de la viabilidad opcional a la evaluación obligatoria

El primer paso consiste en reglamentar, para los equipamientos educativos oficiales, la cláusula de viabilidad del artículo 9 de la Ley 373 de 1997 [9]. Toda obra nueva, ampliación o rehabilitación integral de una sede debería incluir una evaluación pluvial simple: balance hídrico mensual, área de cubierta disponible y demanda no potable medida. Cabe destacar que esta medida no crea un permiso nuevo, puesto que el uso del agua lluvia del propio predio ya está habilitado sin concesión [8]; lo que hace es convertir una posibilidad en un deber de planeación. En el mismo orden de ideas, las metas de ahorro de la Resolución 0194 de 2025 [12] deberían extenderse a las rehabilitaciones de sedes oficiales, y la próxima revisión de la NTC 4595 [35] podría incorporar un capítulo de fuentes alternativas de agua.

B. Pilar financiero-institucional: un responsable y una bolsa

La lección más consistente de la literatura sobre WASH escolar es que la infraestructura sin financiamiento recurrente se deteriora [15], [16]. De ahí se deriva una regla de oro para el modelo: no financiar el hardware de un SAAL sin un plan de operación y mantenimiento a diez años. La responsabilidad operativa recaería en el rector, con el acompañamiento técnico de la entidad territorial certificada, y los recursos podrían canalizarse mediante un rubro específico dentro de los Fondos de Servicios Educativos [55]. Para la inversión inicial, los Planes Integrales de Gestión del Cambio Climático Territoriales [19] y las metas de adaptación de la NDC [18] ofrecen una vía de cofinanciación coherente con la naturaleza adaptativa de estos sistemas. La experiencia de Ciudad de México, donde una sola entidad pública asumió la instalación en las escuelas [50], muestra que definir un ejecutor único simplifica la gestión.

C. Pilar técnico-sanitario: seguro desde el diseño

El tercer pilar busca que el sistema sea seguro y eficiente desde el diseño. En primer lugar, los usos deben escalonarse según el nivel de exposición propuesto en la Tabla IV, empezando por la descarga de sanitarios. En segundo lugar, conviene privilegiar la distribución por gravedad, dado que el bombeo incrementa el consumo energético de operación [25], [28], y preferir cubiertas metálicas cuando sea posible, por su menor carga de bacterias indicadoras fecales [44]. Por último, cada proyecto debería partir de una línea base de consumo medida y de indicadores de referencia como los desarrollados para escuelas brasileñas [23], [24], acompañados de un manual de operación breve y comprensible para el personal del plantel.

Esta simulación puede adaptarse para proponer un diseño de aprovechamiento de agua lluvia en instituciones colombianas, teniendo en cuenta su normativa.



Fig 3. Simulación diseño SAAL.

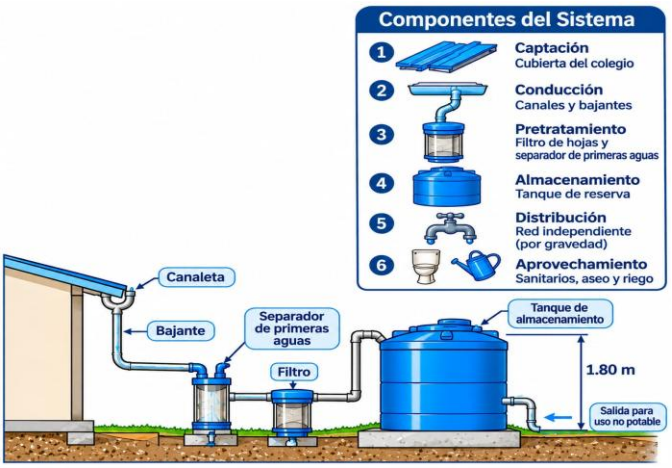


Fig 4. Explicación técnica diseño SAAL.

DOI: https://doi.org/10.26620/uniminuto.inventum.21.42.2026

Este modelo se fundamenta en lo consultado bibliograficamente presentando una simulación de diseño de un sistema de aprovechamiento de agua lluvia compuesto por seis unidades funcionales : captación, conducción, pretratamiento, almacenamiento , distribución y aprovechamiento final. La cubierta de la institución educativa es el área de captación, desde donde el agua se puede transportar mediante canaletas y bajantes hacia los dispositivos de pretratamiento, conformados por filtros de hojas y un separador de primeras aguas. Posteriormente, el recurso hídrico es conducido hacia un tanque de almacenamiento protegido, desde el cual se distribuye mediante una red hidráulica independiente para diferentes usos, como descarga de sanitarios, limpieza o riegos. En el ámbito colombiano, la propuesta encuentra respaldo jurídico en el Decreto 1076 de 2015 [8], que permite el aprovechamiento de las aguas lluvias que caen y discurren dentro de un mismo predio sin requerir concesión, bajo las condiciones establecidas en dicha disposición.

D. Pilar pedagógico-climático: la infraestructura como aula

El cuarto pilar convierte el SAAL en un recurso de aprendizaje. Los Proyectos Ambientales Escolares (PRAE), instituidos por el Decreto 1743 de 1994 [56], son el vehículo natural para hacerlo: los estudiantes pueden registrar la precipitación, el nivel del tanque y el consumo, y esos datos alimentan a la vez la gestión del sistema y la enseñanza de las ciencias. La evidencia muestra que este tipo de programas mejora la conciencia y la comprensión sistémica del agua [39], [40], y la evaluación del programa brasileño sugiere que el acceso al agua en la escuela se asocia con mejores indicadores de permanencia escolar [48]. Así, el sistema deja de ser una obra pasiva y se convierte en una herramienta de alfabetización climática.

E. Focalización: qué sedes primero

Dado que los recursos son limitados, el modelo propone tres criterios de priorización. Primero, las sedes rurales sin acueducto o con suministro intermitente, donde la carencia de agua potable constante alcanza el 67 % [2]. Segundo, los municipios con mayor exposición a sequías según los escenarios climáticos del IDEAM [4], considerando lecciones como la del racionamiento de Bogotá en 2024 [5]. Tercero, los planteles de alto consumo, donde los periodos de retorno de la inversión son más cortos [13]. Combinar estos criterios permite que la inversión llegue primero donde el beneficio social y climático es mayor.

F. Hoja de ruta e indicadores

Finalmente, la Tabla VII organiza la implementación en tres fases, cada una con indicadores verificables que permiten evaluar el avance y corregir el rumbo.

Tabla VII. Hoja de ruta del modelo “colegio hídricamente resiliente” (elaboración propia)

Fase	Acciones principales	Indicadores de seguimiento
1. Piloto demostrativo (0–2 años)	SAAL en sedes de tres regiones climáticas contrastantes; línea base de consumo; diseño de evaluación cuasiexperimental como el aplicado en Brasil [48].	Porcentaje de demanda no potable cubierta; costo real de O&M por año; calidad del agua por uso.
2. Escalamiento normativo (2–5 años)	Reglamentación del art. 9 de la Ley 373 para colegios; capítulo en la NTC 4595; guía de calidad por usos; rubro de O&M en los Fondos de Servicios Educativos.	Porcentaje de intervenciones con evaluación pluvial; porcentaje de sedes con plan de O&M vigente.
3. Integración climática (5–10 años)	Inclusión en los PIGCC y en la NDC; reporte asociado al indicador ODS 4.a.1 [17], [18].	Metros cúbicos sustituidos por año; días de clase perdidos por falta de agua; sedes con PRAE con componente hídrico.

La fortaleza del modelo radica en su coherencia: cada pilar responde a una barrera documentada, cada fase produce la evidencia que necesita la siguiente y ninguna de las medidas exige una ley nueva, porque todas se apoyan en instrumentos que ya existen: la Ley 373, la Resolución 0194, la NTC 4595, los Fondos de Servicios Educativos, los PRAE y los PIGCC. En otras palabras, la pieza que falta no es una norma adicional, sino la decisión de conectar las que el país ya tiene.

VII. CONCLUSIONES

Esta revisión se propuso analizar las normativas, las políticas públicas y las barreras que condicionan la instalación de sistemas hídricos en la infraestructura escolar colombiana. Los hallazgos permiten extraer las siguientes conclusiones.

En primer lugar, la evidencia revisada muestra que los SAAL en edificaciones educativas pueden cubrir una fracción significativa de la demanda no potable: desde cerca de un tercio en escuelas con poca área de captación hasta más del 70 % cuando se combinan con aparatos ahorradores, con periodos de retorno que, en planteles de alto consumo, pueden ser inferiores a tres años; Al establecer un marco formal de auditoría verde, las escuelas pueden monitorear y mejorar sistemáticamente su desempeño ambiental, alineándose con las agendas de sostenibilidad nacionales y globales. Este estudio contribuye al discurso sobre la educación sostenible y ofrece recomendaciones de políticas para fortalecer el papel de las escuelas en los esfuerzos más amplios de conservación ambiental [13], [14], [25]. Esa viabilidad, sin embargo, depende del clima local, de la escala del plantel y del consumo energético asociado al bombeo, por lo que todo proyecto requiere un balance hídrico y energético propio. Del mismo modo, la evidencia sanitaria indica que el agua lluvia es segura para usos de baja exposición, siempre que exista separación de primeras aguas, redes independientes y mantenimiento periódico.

En segundo lugar, Colombia cuenta con un marco normativo habilitante pero no vinculante. El Decreto 1076 de 2015 permite usar el agua lluvia del propio predio sin concesión [8], la Ley 373 de 1997 ordena considerarla en los nuevos proyectos y la Resolución 0194 de 2025 fija metas de ahorro de agua para edificaciones nuevas. Sin

DOI: https://doi.org/10.26620/uniminuto.inventum.21.42.2026

embargo, ninguna de estas normas se dirige de manera específica a los colegios existentes, que son la mayoría del parque escolar y concentran las mayores carencias.

En tercer lugar, las barreras que explican esta brecha son la ausencia de una obligación específica para la infraestructura escolar existente, la dispersión de competencias entre los sectores de ambiente, vivienda y educación, la falta de recursos recurrentes para operación y mantenimiento y la inexistencia de un estándar nacional de calidad para el agua lluvia destinada a usos no potables. Cabe destacar que estas barreras se refuerzan entre sí, razón por la cual las soluciones aisladas tienden a fracasar. La experiencia de Brasil y de Ciudad de México demuestra que pueden superarse cuando un programa público con responsable definido asume la instalación, el acompañamiento y la evaluación de los sistemas [48], [50].

El principal aporte de este trabajo consiste en reunir, en un mismo análisis, la evidencia técnica internacional, el marco jurídico colombiano vigente y la agenda de cambio climático, tres campos que suelen estudiarse por separado. A partir de esa integración se propone el modelo Colegio Hídricamente Resiliente, que traduce los hallazgos en cuatro pilares (normativo, financiero-institucional, técnico-sanitario y pedagógico-climático), tres criterios de focalización y una hoja de ruta con indicadores verificables. Su mayor fortaleza es que no exige una ley nueva, puesto que se apoya en instrumentos que el país ya tiene.

De lo anterior se desprenden implicaciones concretas para cada actor. Para el Ministerio de Educación Nacional y el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, la tarea es articular la Resolución 0194 de 2025 y la NTC 4595 con los programas de infraestructura educativa, de modo que la evaluación pluvial forme parte de toda intervención en sedes oficiales. Para las secretarías de educación de las entidades territoriales certificadas, el reto consiste en priorizar las sedes rurales sin acueducto y en incluir la seguridad hídrica escolar en sus planes de cambio climático. Para los rectores y las comunidades educativas, la oportunidad está en vincular el sistema al PRAE y en asegurar su mantenimiento con recursos del Fondo de Servicios Educativos. Por último, para la academia, el desafío es producir la evidencia local que hoy no existe.

En ese sentido, se identifican cuatro líneas de investigación prioritarias: primero, la evaluación ex post de sistemas instalados en colegios oficiales de distintas regiones climáticas, con datos medidos de consumo, calidad y costos; segundo, el análisis del costo real de operación y mantenimiento a lo largo de al menos diez años; tercero, la evaluación del impacto educativo del acceso al agua en la escuela, en la línea del estudio brasileño; y cuarto, el análisis tarifario del efecto de estos sistemas sobre la factura de acueducto y alcantarillado, planteado aquí como hipótesis.

Finalmente, en un escenario de cambio climático con mayor variabilidad en las lluvias, el aprovechamiento pluvial en los colegios debe dejar de verse como una mejora opcional y asumirse como una medida de adaptación coherente con los compromisos del país frente a los ODS 4 y 6 y a su NDC. Por consiguiente, cerrar esta brecha exige pasar de normas que permiten a normas que asignan responsabilidades y recursos. Si el SAAL se incorpora desde el diseño, se financia durante todo su ciclo de vida y se integra al currículo, el colegio deja de ser un consumidor vulnerable de agua y se convierte en un espacio donde los estudiantes aprenden, con su propia infraestructura, a adaptarse al cambio climático.

REFERENCIAS

[1] WHO/UNICEF Joint Monitoring Programme (JMP), "Progress on drinking water, sanitation and hygiene in schools 2015–2025", UNICEF y Organización Mundial de la Salud, Nueva York/Ginebra, 2026. [En línea]. Disponible: https://data.unicef.org/resources/jmp-wash-in-schools-2026/

[2] Welbin y Laboratorio de Economía de la Educación (LEE), "Índice Welbin – Colombia, 2022", Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia, 2022.

[3] IDEAM, PNUD, MADS, DNP y Cancillería, "Tercera Comunicación Nacional de Colombia a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC)", Bogotá, Colombia, 2017.

[4] Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), "Comunicado especial 130: El Ideam presenta nuevas proyecciones climáticas para Colombia. Escenarios de cambio climático al 2100", Bogotá, Colombia, dic. 2024.

[5] Alcaldía Mayor de Bogotá, "El 11 de abril inicia racionamiento de agua en Bogotá, por zonas y cada 24 horas" y "¿Qué ha hecho la Alcaldía Mayor de Bogotá respecto a la crisis del agua?", Portal Bogotá.gov.co, Bogotá, Colombia, 2024. [En línea]. Disponible: https://bogota.gov.co

[6] A. Teston, T. P. Scolaro, J. K. Maykot y E. Ghisi, "Comprehensive environmental assessment of rainwater harvesting systems: A literature review", Water, vol. 14, no. 17, art. 2716, 2022, doi: 10.3390/w14172716.

[7] A. Campisano et al., "Urban rainwater harvesting systems: Research, implementation and future perspectives", Water Res., vol. 115, pp. 195–209, 2017, doi: 10.1016/j.watres.2017.02.056.

[8] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, "Decreto 1076 de 2015, por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible", Diario Oficial, Bogotá, Colombia, 26 may. 2015 (arts. 2.2.3.2.16.1 a 2.2.3.2.16.3, compilados del Decreto 1541 de 1978).

[9] Congreso de la República de Colombia, "Ley 373 de 1997, por la cual se establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua", Diario Oficial n.º 43.058, Bogotá, Colombia, 11 jun. 1997.

[10] N. Palacio Castañeda, "Propuesta de un sistema de aprovechamiento de agua lluvia como alternativa para el ahorro de agua potable, en la institución educativa María Auxiliadora de Caldas, Antioquia", Gestión y Ambiente, vol. 13, no. 2, pp. 25–40, 2010.

[11] E.-I. Casas-Matiz y M.-L. Malagón-Micán, "Manejo del agua lluvia en el campus de la Universidad de América", Gestión y Ambiente, vol. 22, no. 1, pp. 9–17, 2019, doi: 10.15446/ga.v22n1.75334.

[12] Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, "Resolución 0194 de 2025, por medio de la cual se definen los parámetros y lineamientos de construcción sostenible, se adopta la guía para el ahorro de agua y energía en edificaciones, se sustituye la Resolución 0549 de 2015 y se dictan otras disposiciones", Bogotá, Colombia, 11 abr. 2025.

[13] L. N. Antunes y E. Ghisi, "Water and energy consumption in schools: Case studies in Brazil", Environ. Dev. Sustain., vol. 22, no. 5, pp. 4225–4249, 2020, doi: 10.1007/s10668-019-00380-x.

[14] Ng, T. F., Shafie, M. S., Mohd Shafiei, M. W., Hassan, M. S., Ayal, D. Y., Azeiteiro, U. M., Evans, H. C., Grinfelde, I., de Andrade Guerra, J. B. S. O., Kljusurić, J. G., Leitão, J. C. C., Li, C., Matandirotya, N. R., Mutai, B., Nagy, G. J., Razanakoto, T., Schaefer, J., Trbic, G., Abeldaño Zuñiga, R. A., … Vakulchuk, R. (2026). Evaluación de prácticas ecológicas: iniciativas de Universiti Sains Malaysia (USM) para lograr un comportamiento sensible al cambio climático en las escuelas. Iniciativas Universitarias Sobre Educación e Investigación Sobre El Cambio Climático, 209–232

[15] S. M. McGinnis, T. McKeon, R. Desai, A. Ejelonu, S. Laskowski y H. M. Murphy, "A systematic review: Costing and financing of water, sanitation, and hygiene (WASH) in schools", Int. J. Environ. Res. Public Health, vol. 14, no. 4, art. 442, 2017, doi: 10.3390/ijerph14040442.

[16] M. F. Rieiro, S. Cavill, M. Igarashi Wood, A. Makanyi y A. Trevett, "A global assessment of budgeting and financing for WASH in schools", Waterlines, Practical Action Publishing, 2020.

[17] Asamblea General de las Naciones Unidas, "Resolución A/RES/71/313. Labor de la Comisión de Estadística en relación con la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible (marco de indicadores mundiales de los ODS)", Nueva York, EE. UU., 2017.

[18] Gobierno de Colombia, "Actualización de la Contribución Determinada a Nivel Nacional de Colombia (NDC)", Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Bogotá, Colombia, dic. 2020.

[19] Congreso de la República de Colombia, "Ley 1931 de 2018, por la cual se establecen directrices para la gestión del cambio climático", Diario Oficial n.º 50.667, Bogotá, Colombia, 27 jul. 2018.

[20] H. Arksey y L. O'Malley, "Scoping studies: Towards a methodological framework", Int. J. Soc. Res. Methodol., vol. 8, no. 1, pp. 19–32, 2005, doi: 10.1080/1364557032000119616.

[21] A. C. Tricco et al., "PRISMA extension for scoping reviews (PRISMA-ScR): Checklist and explanation", Ann. Intern. Med., vol. 169, no. 7, pp. 467–473, 2018, doi: 10.7326/M18-0850.

[22] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), NBR 15527:2019. Aproveitamento de água de chuva de coberturas para fins não potáveis – Requisitos, Río de Janeiro, Brasil: ABNT, 2019.

[23] J. D. C. Schultt, A. Kalbusch y E. Henning, "Factors influencing water consumption in public schools in Southern Brazil", Environ. Dev. Sustain., vol. 24, no. 1, 2022, doi: 10.1007/s10668-021-01473-2.

[24] R. A. Flores y E. Ghisi, "Benchmarking water efficiency in public school buildings", Sustainability, vol. 14, no. 7, art. 3794, 2022.

[25] Pandyaswargo, A. H., Azmi, N., Darwinsyah, & Onoda, H. (2024). Evaluación financiera de los tratamientos de aguas subterráneas y pluviales para el suministro de agua potable escolar. Gestión Sostenible de Los Recursos Hídricos, 10(1).

[26] S. Chen, A. M. Antão-Geraldes, A. Jabur, P. Vale, T. Morais y F. Silva, "Rainwater 'piggy banks' and green roofs in school buildings: Integrated strategies for sustainable water management", Appl. Sci., vol. 15, no. 22, art. 11870, 2025, doi: 10.3390/app152211870.

[27] B. Beqaj, O. Marko, E. Çobani y D. Profka, "Design of a rainwater collection system and possible use of harvested water in a kindergarten building: A case study in Tirana City, Albania", Eur. J. Eng. Technol. Res., vol. 7, no. 5, pp. 22–26, 2022, doi: 10.24018/ejeng.2022.7.5.2877.

[28] A. S. Vieira, C. D. Beal, E. Ghisi y R. A. Stewart, "Energy intensity of rainwater harvesting systems: A review", Renew. Sustain. Energy Rev., vol. 34, pp. 225–242, 2014, doi: 10.1016/j.rser.2014.03.012.

[29] T. M. Sebben Oneda y E. Ghisi, "How rainwater harvesting bridges the water–energy nexus in buildings: A systematic review", Water, vol. 18, no. 12, art. 1495, 2026, doi: 10.3390/w18121495.

[30] T. Lepota y N. Armitage, "The prospects for rainwater harvesting at the University of Cape Town", Water SA, vol. 51, no. 2, 2025, doi: 10.17159/wsa/2025.v51.i2.4110.

[31] M. Gómez-Monsalve, I. Domínguez, X. Yan, S. Ward y E. Oviedo-Ocaña, "Environmental performance of a hybrid rainwater harvesting and greywater reuse system: A case study on a high-water consumption household in Colombia", J. Clean. Prod., vol. 345, art. 131125, 2022, doi: 10.1016/j.jclepro.2022.131125.

[32] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, "Decreto 1090 de 2018, por el cual se adiciona el Decreto 1076 de 2015 en lo relacionado con el Programa para el Uso Eficiente y Ahorro de Agua (PUEAA)", Bogotá, Colombia, 2018.

[33] Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, "Resolución 0330 de 2017, por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS", Diario Oficial n.º 50.267, Bogotá, Colombia, 2017 (modificada por la Resolución 0799 de 2021).

[34] Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC), NTC 1500 (tercera actualización). Código colombiano de instalaciones hidráulicas y sanitarias, Bogotá, Colombia: ICONTEC, 2017.

[35] Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC), NTC 4595:2025. Planeamiento y diseño para instalaciones y ambientes escolares, Bogotá, Colombia: ICONTEC, 2025.

[36] Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, "Resolución 0549 de 2015, por la cual se reglamenta el Capítulo 1 del Título 7 de la Parte 2 del Libro 2 del Decreto 1077 de 2015 en cuanto a los parámetros y lineamientos de construcción sostenible", Diario Oficial n.º 49.591, Bogotá, Colombia, 2015.

[37] Secretaría Distrital de Planeación de Bogotá, "Resolución 1874 de 2019, por la cual se adopta el Protocolo de implementación para el cumplimiento de los porcentajes de ahorro en agua y energía para la ciudad de Bogotá D.C., establecidos en la Resolución 549 de 2015", Bogotá, Colombia, 2019.

[38] R. Gómez Álvarez e I. Maldonado Bernal, "Financiamiento e infraestructura como instrumentos de política educativa: Percepción estudiantil en un plantel de educación media superior técnica en Nayarit, México", Archivos Analíticos de Políticas Educativas, vol. 34, no. 44, 2026, doi: 10.14507/epaa.34.9270.

[39] E.-J. Seo, T.-Y. Kim y T.-H. Kang, "The effect of a rainwater education program on South Korean students' awareness and attitudes", Environ. Eng. Res., vol. 18, no. 2, pp. 77–84, 2013, doi: 10.4491/eer.2013.18.2.077.

[40] L. B. Cole, L. Priscilla, L. Zangori, B. Kania-Gosche y J. Burken, "Raising the green roof: Enhancing youth water literacy through built environment education", Sustainability, vol. 16, no. 10, art. 4262, 2024, doi: 10.3390/su16104262.

[41] Congreso de la República de Colombia, "Ley 142 de 1994, por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones", Bogotá, Colombia, 1994.

[42] W. Ahmed, T. Gardner y S. Toze, "Microbiological quality of roof-harvested rainwater and health risks: A review", J. Environ. Qual., vol. 40, no. 1, pp. 13–21, 2011, doi: 10.2134/jeq2010.0345.

[43] K. Hamilton et al., "A global review of the microbiological quality and potential health risks associated with roof-harvested rainwater tanks", npj Clean Water, vol. 2, art. 7, 2019, doi: 10.1038/s41545-019-0030-5.

[44] C. B. Mendez, J. B. Klenzendorf, B. R. Afshar, M. T. Simmons, M. E. Barrett, K. A. Kinney y M. J. Kirisits, "The effect of roofing material on the quality of harvested rainwater", Water Res., vol. 45, no. 5, pp. 2049–2059, 2011.

[45] M. J. Hossain, M. A. Islam, M. H. Rahaman, M. A. Chowdhury, M. A. Islam y M. M. Rahman, "Drinking water services in the primary schools: Evidence from coastal areas in Bangladesh", Heliyon, vol. 8, art. e09786, 2022, doi: 10.1016/j.heliyon.2022.e09786.

[46] Ministerio de la Protección Social y Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, "Resolución 2115 de 2007, por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano", Diario Oficial n.º 46.679, Bogotá, Colombia, 22 jun. 2007.

[47] World Health Organization, Guidelines for Drinking-water Quality, 4th ed. incorporating the first and second addenda, Ginebra, Suiza: WHO, 2022. ISBN 978-92-4-004506-4.

[48] E. F. M. Sobral, H. M. de B. Ramalho y A. T. C. de Almeida, "Impacto do Programa Cisternas nas Escolas sobre condições de infraestrutura e desempenho", Economia Aplicada, vol. 28, no. 4, pp. 523–569, 2024, doi: 10.11606/1980-5330/ea192639.

[49] Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México (SEDEMA), "Evaluación interna del programa social Cosecha de Lluvia. Informe anual ejercicio 2022", Ciudad de México, México, 2023.

[50] Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México (SEDEMA), Cosechamos lluvia y futuro para la Ciudad de México: Memorias del Programa Cosecha de Lluvia y el proyecto Escuelas de Captación, Ciudad de México, México: SEDEMA, 2024.

[51] La Crónica de Hoy, "Cosechadores de lluvia captarán 918 millones de litros de agua al año en escuelas públicas de CDMX", Ciudad de México, México, 2024.

[52] La República, "Más de 96.000 estudiantes en escuelas rurales accedieron a agua potable desde 2011" (programa Agua para la educación, educación para el agua, Fundación EPM), Bogotá, Colombia, 2 jul. 2023.

[53] D. Jiménez González, "El deseo del aula abierta en escuelas sin agua", El Colombiano, Medellín, Colombia, 10 ago. 2020 (con base en el estudio Caracterización del acceso a agua en sedes educativas oficiales, Secretaría de Educación de Antioquia).

[54] K. Wartalska et al., "The potential of RainWater Harvesting systems in Europe – Current state of art and future perspectives", Water Resour. Manage., vol. 38, no. 12, pp. 4657–4683, 2024, doi: 10.1007/s11269-024-03882-0.

[55] Congreso de la República de Colombia, "Ley 715 de 2001, por la cual se dictan normas orgánicas en materia de recursos y competencias (…) para organizar la prestación de los servicios de educación y salud, entre otros", Bogotá, Colombia, 2001 (arts. 11 a 14, Fondos de Servicios Educativos).

[56] Ministerio de Educación Nacional y Ministerio del Medio Ambiente, "Decreto 1743 de 1994, por el cual se instituye el Proyecto de Educación Ambiental para todos los niveles de educación formal", Bogotá, Colombia, 1994.

II.