



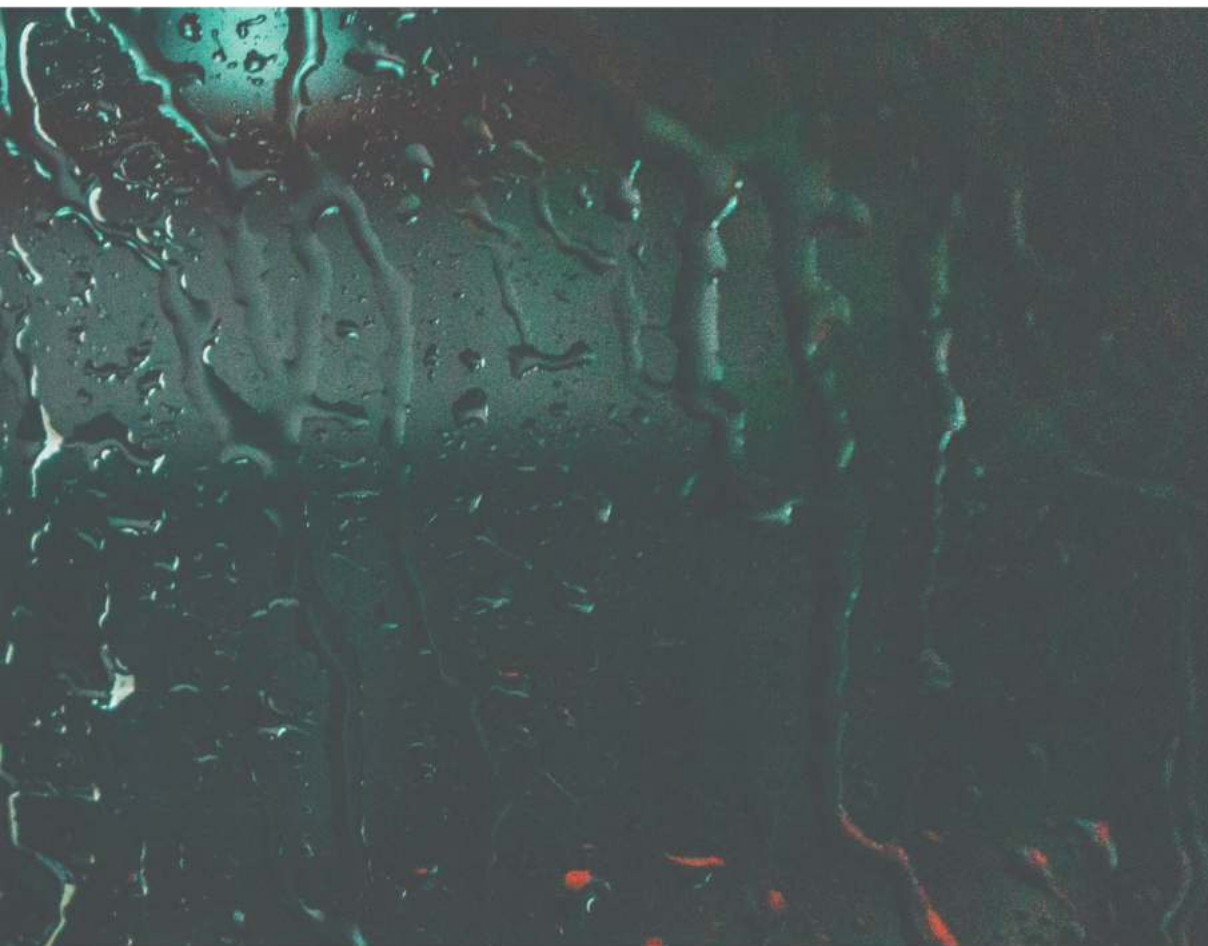
CAPTACIÓN DE LLUVIA COMO ALTERNATIVA PARA EL AHORRO DE AGUA POTABLE

SERGIO CORTÉS-ALCARAZ*, PILAR RAMÍREZ-RIVERA*,
PETER CHUNG-ALONSO*, SANTIAGO ARCEO-DÍAZ*



En los orígenes del ser humano, la principal fuente de abastecimiento era el agua superficial, esto provocó que los valles de los ríos fueran los lugares donde se establecieron las primeras civilizaciones, desarrollándose así la agricultura, la pesca y posteriormente la ganadería. Estas actividades no dependían directamente de la lluvia, debido a la abundancia de las aguas superficiales; sin embargo, transcurrido el tiempo, los factores como la expansión demográfica, el aumento en la demanda de alimentos y del agua comenzaron a incrementarse, ocasionando la búsqueda de nuevos lugares de abastecimiento, algunos de ellos tuvieron que migrar a zonas más áridas y con ello desarrollar técnicas de captación de lluvias para consumo y riego de cultivos (Ballén, Galarza y Ortiz, 2006). De acuerdo con sus investigaciones, Ballén, Galarza y Ortiz (2006), León, Córdoba y Carreño (2016), Hugues (2019), Gould y Nissen-Petersen (1999), Anaya (2009) y Jiménez (2018) argumentan que la captación de lluvia no es un invento moderno y era utilizado desde hace ya varios miles de años por nuestros antepasados en varias partes del mundo.

* Instituto Tecnológico de Colima.
Contacto: g1946002@colima.tecnm.mx



En México y Mesoamérica, diversas culturas prehispánicas implementaron la captación de lluvia para uso agrícola y consumo humano, mediante canales y zanjas aprovechando el agua rodada, ya sea de manera subterránea o a cielo abierto en patios, casas, en el campo, jagüeyes, bordos, entre otros. Dentro de los hallazgos arqueológicos más importantes registrados de almacenamientos subterráneos para la captación de lluvia en las culturas prehispánicas, destacan San José Mogote (1000 a.C.), Tierras Largas (1000-900 a.C.), Oaxaca, y miles de chultunes o cisternas mayas en la península de Yucatán; y de los depósitos a cielo abierto sobresalen los jagüeyes: bordos elaborados con tierra o recubrimiento de piedra (Conagua, 2009).

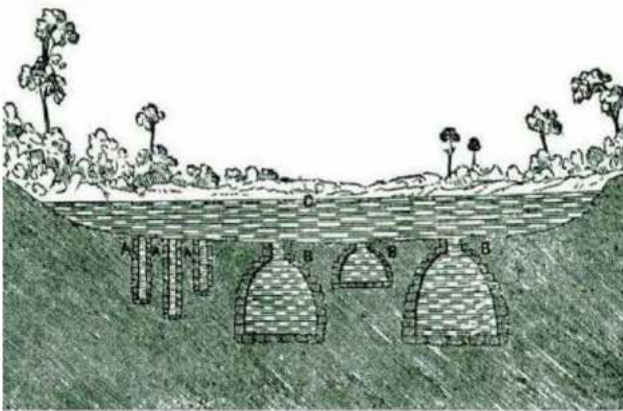


Figura 1. Esquema de un chultún del pueblo maya del siglo X a.C.

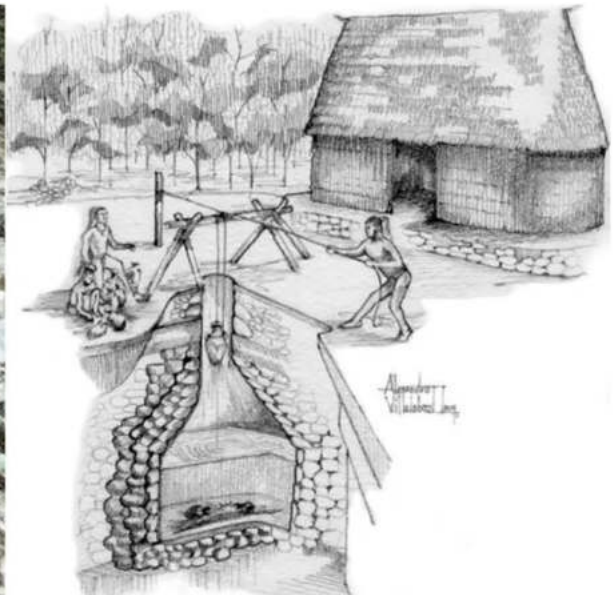
También dentro del México prehispánico, entre los años 650-900 d.C., en la zona arqueológica de Xochicalco, Morelos, existe la evidencia de la utilización de la plaza central y los patios para canalizar el agua de lluvia hacia las cisternas y almacenarla hasta por siete meses, aproximadamente (Garrido, 2008).

Miles de años después, el uso de los sistemas de aprovechamiento de la lluvia se fue dejando a un lado con la invención e imposición de métodos y obras para utilizar nuevas fuentes de abastecimiento como presas, acueductos, pozos de extracción y sistemas de irrigación. Sin embargo, existe el registro de que a mediados del siglo XX en

ciudades como Guanajuato, Zacatecas o Mérida, frente a la limitada oferta, los habitantes adecuaron las azoteas de sus casas para captar y conducir el agua de lluvia a diferentes tipos de depósitos (barriles, pilas, aljibes, ollas; Ballén *et al.*, 2006; Conagua, 2009).

En la actualidad, muchas ciudades de México y del mundo continúan con problemas de abastecimiento de este vital líquido debido principalmente al continuo crecimiento de la población y a su desplazamiento de entornos rurales a urbanos, al aumento de la demanda de la seguridad alimentaria y de bienestar económico, al incremento de la competencia entre usuarios y usos y al grado de contaminación de origen industrial, municipal y agrícola (Naciones Unidas, 2006).

Fernández (2012) menciona que cada año aproximadamente se evaporan 505.000 km³ de agua de los océanos y que la mayor parte no puede ser utilizada como recurso de agua dulce, debido a que se precipita nuevamente sobre los mismos océanos. La precipitación anual sobre tierra firme se estima en 120.000 km³, sin embargo, la precipitación es variable en tiempo y espacio, es decir, no llueve constantemente la misma cantidad todo el año ni en toda la Tierra. Un dato interesante es que sólo 2.53% del total en el planeta es dulce, el resto es salada. Porcentualmente, el reparto del total de agua dulce es el siguiente: Europa 7%, Oceanía 6%, América del Sur 28%, Asia 32%, África 9%



y América del Norte 18% (Molinares y Echeverría, 2011).

Diversos estudios afirman que una de las soluciones más eficientes para mitigar la problemática del abastecimiento es la captación del agua de lluvia, ya que es una técnica sustentable, sencilla y económica; además, lo captado es de muy alta calidad, es un recurso gratuito y ecológico y ayuda a equilibrar la cantidad que actualmente se extrae de fuentes superficiales y subterráneas, mientras que minimiza la degradación ambiental. Cabe señalar que la captación de lluvia no es la única fuente alternativa, también se encuentran: la desalinización de los mares, reúso de aguas residuales y grises, recolección de humedad atmosférica, transporte de agua a través de icebergs, entre otras (Gleason Espíndola, 2014) (WWAP, Programa mundial de evaluación de los recursos hídricos de la UNESCO, 2019).

Existe una gran variedad de técnicas de los sistemas de captación y aprovechamiento del agua de lluvia dependiendo del tamaño, uso y manera en recolectarla; Gleason (2014) define al sistema de captación de lluvia (Scall) como el conjunto de elementos que captan la que cae en una superficie para posteriormente conducirla y almacenarla y después darle un uso. En este caso se plantea la posibilidad de desarrollar un sistema de captación de pequeña escala para aprovechar las lluvias que caen sobre los techos en una institución educativa de la ciudad de Colima, como una alternativa de ahorro de agua potable.



Algunas instituciones y asociaciones de México, como la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), Universidad Autónoma de Chapingo, Isla Urbana, Asociación Mexicana de Sistemas de Captación de Agua de Lluvia (Amscall) y la Comisión Nacional del Agua (Conagua) trabajan en el desarrollo e implementación de tecnologías en temas de captación de lluvia. Además, en algunas ciudades de México existen espacios públicos y universidades donde ya se han implementado de manera satisfactoria Scall, dándoles diferentes usos dependiendo de las necesidades.

ZONA DE ESTUDIO

El área de estudio es el Tecnológico Nacional de México, campus Colima (ITC), la segunda institución pública educativa de nivel superior más grande de Colima, únicamente después de la Universidad de Colima, la cual, en 2018, tuvo una matrícula de 3250 alumnos en licenciatura y posgrado con un núcleo de profesores de tiempo completo de 85 (ITC, 2019). El ITC se encuentra ubicado en la ciudad de Villa de Álvarez, dentro de la zona metropolitana del estado de Colima. Por esto se plantea hacer el análisis de contar con un Scall en una institución pública tan importante para el estado que alberga a cientos de estudiantes; después los estudiantes, maestros y sociedad en general pueden replicarlo en sus viviendas.



Figura 2. Ubicación y vista área de las instalaciones del ITC (Google Earth, 2019).

El Instituto cuenta con 28 edificios con losa de concreto, dos canchas techadas con lona y 11,642.19 m² de áreas verdes. Si se consideran todos los techos de los edificios y de las canchas como áreas aprovechables de captación, tendríamos un total de 17,031.10 m²; sin embargo, estas áreas se ven afectadas por un coeficiente de escorrentía dependiendo del material del cual están hechos. Para las superficies de concreto se

toma el coeficiente de 0.70 y para las canchas con lona de 0.90. Teniendo como total de área aprovechable neta 12,360.96 m² (tabla I).

Actualmente se abastece de agua desde un pozo profundo y la red de distribución municipal, y la Comisión Intermunicipal de Agua Potable y Alcantarillado de los municipios de Colima y Villa de Álvarez (Ciapacov) funge como organismo regulador.



Tabla I. Edificios de Tecnológico Nacional de México, campus Colima, con sus respectivas superficies de azoteas (elaboración propia).

Edificio	m ²	Tipo	CSE	m ² *CSE	l/año	m ³ /año	Edificio	m ²	Tipo	CSE	m ² *CSE	l/año	m ³ /año
Cafetería Sur	48.69	Concreto	0.7	34.08	23.86	0.02	Edificio N	198.28	Lámina	0.90	178.45	124.92	0.12
Domo canchas	1392.85	Lona	0.9	1253.57	877.50	0.88	Edificio Ñ	204.25	Concreto	0.70	142.98	100.08	0.10
Patio cívico	241.92	Lona	0.9	217.73	152.41	0.15	Edificio O	351.79	Concreto	0.70	246.25	172.38	0.17
Edificio A	1351.77	Concreto	0.7	946.24	662.37	0.66	Edificio P	351.79	Concreto	0.70	246.25	172.38	0.17
Edificio B	1068.87	Concreto	0.7	748.21	523.75	0.52	Edificio Q	362.88	Lámina	0.90	326.59	228.61	0.23
Edificio C	360.00	Concreto	0.7	252.00	176.40	0.18	Edificio R	756.76	Concreto	0.70	529.73	370.81	0.37
Edificio D	506.88	Concreto	0.7	354.82	248.37	0.25	Edificio S	437.96	Concreto	0.70	306.57	214.60	0.21
Edificio E	506.88	Concreto	0.7	354.82	248.37	0.25	Edificio T	1024.92	Concreto	0.70	717.44	502.21	0.50
Edificio F	506.88	Concreto	0.7	354.82	248.37	0.25	Edificio U	716.00	Concreto	0.70	501.20	350.84	0.35
Edificio G	601.92	Concreto	0.7	421.34	294.94	0.29	Edificio V	615.06	Concreto	0.70	430.54	301.38	0.30
Edificio H	316.80	Concreto	0.7	221.76	155.23	0.16	Edificio W	1013.97	Concreto	0.70	709.78	496.85	0.50
Edificio I	601.92	Concreto	0.7	421.34	294.94	0.29	Edificio X	1024.92	Concreto	0.70	717.44	502.21	0.50
Edificio J	516.60	Concreto	0.7	361.62	253.13	0.25	Edificio Y	640.98	Concreto	0.70	448.69	314.08	0.31
Edificio K	506.88	Concreto	0.7	354.82	248.37	0.25	Edificio Z	147.84	Concreto	0.70	103.49	72.44	0.07
Edificio L	411.84	Concreto	0.7	288.29	201.80	0.20	TOTAL	16788.10			12190.86	8533.60	8.53

RESULTADOS

Se realizó el análisis de la precipitación media mensual histórica (1950-2017) de la estación con mayor influencia y más cercana al Instituto, la estación 6040 de Conagua; por lo que a continuación se presenta, en la tabla II, un resumen de la distribución de las precipitaciones en l/m², junto con el potencial de captación de lluvia por mes en metros cúbicos (m³), obtenido de multiplicar la precipitación media mensual por el área aprovechable neta de captación.

Con esta información se obtuvo que el Tecnológico Nacional de México tiene un potencial de captación de lluvia en los techos de los edificios de 11,010.03 m³ anuales. De acuerdo con información del Departamento de Planeación, la demanda total de agua en 2018 en toda la institución fue de 47,390 m³ (tabla II). Con la implementación de los Scall en los techos de los edificios se pudiera cubrir la demanda de más de 23% de este consumo anual. Según los resultados de la tabla III, en los meses de julio y agosto la demanda se cubre totalmente por el agua de lluvia. Los meses de julio y octubre rebasan más de 50% de la demanda requerida.

En la tabla IV se observa un análisis de utilizar el agua obtenida de los Scall únicamente para riego de las áreas verdes del Instituto, para el análisis se considera que la cantidad de consumo en áreas verdes es de 5 l/m²/día, según el manual de Conagua (2007); si el Tecnológico de Colima cuenta con una superficie de áreas verdes de

Tabla II. Distribución de la precipitación media anual de 1950-2017 de la estación 6040 de Conagua.

Meses	Precipitación media mensual histórica (mm)	Área aprovechable neta de captación (m ²)	Potencial de captación de agua de lluvia (m ³)
Junio	128.22	12360.96	1584.92
Julio	202.67	12360.96	2505.19
Agosto	190.60	12360.96	2356.00
Septiembre	191.92	12360.96	2372.31
Octubre	95.60	12360.96	1181.71
Noviembre	19.87	12360.96	245.61
Diciembre	11.41	12360.96	141.04
Enero	23.02	12360.96	284.55
Febrero	7.49	12360.96	92.58
Marzo	5.97	12360.96	73.79
Abril	1.86	12360.96	22.99
Mayo	12.08	12360.96	149.32
Total	890.71		11010.03

Tabla III. Capacidad de abastecimiento del Scall por mes ante la demanda de agua de la institución en 2018.

Meses	Potencial de captación del Scall (m ³)	Demanda mensual de agua (m ³)	Déficit (m ³)	Cobertura (%)
Junio	1584.92	3442.00	1857.08	46.05%
Julio	2505.19	2670.00	164.81	93.83%
Agosto	2356.00	2259.00	-97.00	104.29%
Septiembre	2372.31	2259.00	-113.31	105.02%
Octubre	1181.71	1744.00	562.29	67.76%
Noviembre	245.61	2554.00	2308.39	9.62%
Diciembre	141.04	2475.00	2333.96	5.70%
Enero	284.55	5652.00	5367.45	5.03%
Febrero	92.58	5110.00	5017.42	1.81%
Marzo	73.79	6098.00	6024.21	1.21%
Abril	22.99	6515.00	6492.01	0.35%
Mayo	149.32	6612.00	6462.68	2.26%
Total	11010.03	47390.00	36379.97	23.23%



11,642.19 m³ las cuales se riegan cinco días a la semana en temporada de secas, se genera una demanda mensual de 1280.64 m³, y en temporada de lluvias, aproximadamente cuatro meses (junio-septiembre), no se considera riego.

Los resultados arrojan que la captación de lluvia cumple con 100% de la demanda de riego en la institución. Para poder almacenarla toda es necesario contar con una o varias cisternas con capacidad total de casi 8,719.50 m³.

Tabla IV. Capacidad de abastecimiento del Scall por mes ante la demanda de agua para riego de las áreas verdes de la institución.

Meses	Captación m ³	Demanda en riego m ³	Volumen almacenado acumulado
Junio	1584.92	0	1584.92
Julio	2505.19	0	4090.12
Agosto	2356.00	0	6446.11
Septiembre	2372.31	0	8818.43
Octubre	1181.71	1280.64	8719.50
Noviembre	245.61	1280.64	7684.47
Diciembre	141.04	1280.64	6544.87
Enero	284.55	1280.64	5548.77
Febrero	92.58	1280.64	4360.72
Marzo	73.79	1280.64	3153.87
Abril	22.99	1280.64	1896.22
Mayo	149.32	1280.64	764.90
Total	11010.03	10245.1272	764.90

CONCLUSIONES

El uso de Scall en el Tecnológico Nacional de México campus Colima son una potencial fuente alternativa de abastecimiento, sin embargo, por sí solos no garantizan en cantidad el agua para su aprovechamiento, ya que representan 23% de ahorro en el consumo anual dentro de la institución, lo que equivale en dinero a \$4,400, aproximadamente, de acuerdo con las cuotas y tarifas para el pago de derechos por los servicios públicos de agua potable y alcantarillado de los municipios de Colima y Villa de Álvarez en el estado de Colima. Este ahorro puede dotar a 50 familias colimenses de cuatro integrantes cada una con 150 litros/habitante/día. Con este ahorro anual se puede invertir en presupuesto para material educativo, viajes estudiantiles, becas, mejora de las instalaciones; además, puede servir como albergue con autonomía de agua ante alguna contingencia social como sismos, huracanes, etc.

También se analizó que el agua captada abastece 100% la demanda de riego de las áreas verdes de la escuela, pero por otro lado se requieren grandes receptáculos para almacenarla en temporada de lluvias.

Dentro de las limitaciones se cuenta con una estación climatológica dentro del Tecnológico de Colima, pero con pocos años en uso, por lo tanto se recurrió a la más cercana, y la precipitación es variable en tiempo y espacio.

Para trabajos futuros falta desarrollar la propuesta económica de cuánto cuesta la inversión inicial de los Scalls y el análisis de la calidad del agua.

REFERENCIAS

- Anaya-Garduño, M., 2009. *Antecedentes de la captación del agua de lluvia*. México:Centro Internacional de Demostración y Capacitación de Aprovechamiento del Agua de Lluvia (Cidecalli).
- Ballén-Suárez, J.A., Galarza, G.M.Á., y Ortiz-Mosquera, R.O. (2006). *Historia de los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia*. VI Seminario Iberoamericano sobre sistemas de abastecimiento Urbano de Agua.
- Comisión Nacional del Agua (Conagua). (2007). *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Datos básicos*. Mexico, D.F.:Comisión Nacional del Agua.
- Comisión Nacional del Agua (Conagua). 2018. *Estadísticas del agua en México*. Ciudad de México, México:Comisión Nacional del Agua.
- Fondo para la Comunicación y la Educación Ambiental, A.C. (2004). *Visión general del agua en México*. Disponible en: <https://agua.org.mx/cuanta-agua-tiene-mexico/#cuanta-hay>
- Gleason-Espíndola, J.A. (2005). *Manual de aprovechamiento de aguas pluviales en centros urbanos*. Guadalajara, Jalisco, México:Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de Arte, Arquitectura y Diseño.
- Gleason-Espíndola, J.A. (2014). *Sistemas de agua sustentables en las ciudades*. México:Trillas.
- Hugues, R.T. (2019). La captación del agua de lluvia como solución en el pasado y el presente. *Ingeniería hidráulica y ambiental*. XL(2):125-139.
- Instituto Tecnológico de Colima. (2019). *Informe de Rendición de Cuentas 2018*. Villa de Álvarez, Colima, México:ITC.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi). (2015). *Encuesta Intercensal 2015*. Disponible en: <http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/mex/poblacion/densidad.aspx?tema=me&e=15>
- León-Agatón, A., Córdoba-Ruiz, J.C., y Carreño-Sayago, U.F. (2016). Revisión del estado de arte en captación y aprovechamiento de aguas lluvias en zonas urbanas y aeropuertos. *Revista Tecnura*. 20(50):141-153.
- Naciones Unidas. (2017). *Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo*. Disponible en: <https://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals.html>
- Tecnológico Nacional de México. (2019). *Anuario estadístico 2018*. México:Secretaría de Educación Pública.
- WWAP (Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de la UNESCO). (2019). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2019: No dejar a nadie atrás*. París, Francia:UNESCO.