

SISTEMAS DE CAPTACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE AGUA LLUVIA EN
ACTIVIDADES INDUSTRIALES.



LAURA DANIELA ROJAS ARIAS



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL
VILLAVICENCIO
2020

SISTEMAS DE CAPTACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE AGUA LLUVIA EN
ACTIVIDADES INDUSTRIALES.

LAURA DANIELA ROJAS ARIAS

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de
INGENIERO AMBIENTAL

Directora
YÉSICA NATALIA MOSQUERA BELTRAN
Ingeniera Ambiental

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL
VILLAVICENCIO

2020

Autoridades Académicas

P. JOSÉ GABRIEL MESA ANGULO, O. P.

Rector General

P. EDUARDO GONZÁLEZ GIL, O. P.

Vicerrector Académico General

P. JOSE ANTONIO BALAGUERA CEPEDA, O.P.

Rector Sede Villavicencio

P. RODRIGO GARCIA JARA, O.P.

Vicerrector Académico Sede Villavicencio

Mg. JULIETH ANDREA SIERRA TOBÓN

Secretaria de División Sede Villavicencio

YÉSICA NATALIA MOSQUERA BELTRAN

Decana de la Facultad de Ingeniería Ambiental

SISTEMAS DE CAPTACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE AGUA LLUVIA EN ACTIVIDADES INDUSTRIALES.

SYSTEMS OF COLLECTION AND USE OF RAIN WATER IN INDUSTRIAL ACTIVITIES.

Laura Daniela Rojas Arias

laurarojasa@usantotmas.edu.co

Facultad de Ingeniería Ambiental, Universidad Santo Tomás sede Villavicencio

Resumen

El cambio climático y el aumento de la demanda del recurso hídrico a través de los años ha generado una crisis de escasez en varias regiones del mundo, por consiguiente, la implementación de los Sistemas de Captación de Agua Lluvia (SCALL), en las últimas dos décadas se ha constituido como una estrategia de desarrollo sostenible. El presente artículo identificó el proceso de desarrollo de los sistemas de captación y aprovechamiento de agua lluvias en diferentes actividades industriales. Los resultados obtenidos determinaron que los SCALL se han desarrollado en la agroindustria, industria piscícola, ganadera, en la salud (sector terciario), aeroportuaria e instituciones educativas y centros comerciales y así de identificar el proceso de desarrollo como también la viabilidad de implementación de esta medida. Sin embargo, no en todos los sectores industriales evidenciaron casos de éxito, algunos presentaron condiciones precarias de tratamiento y viabilidad técnica y económica, las cuales deben ser abordadas ampliamente para investigaciones futuras en el desarrollo de los SCALL.

Palabras claves: Cambio climático, Agua lluvia, Sistemas de captación.

1. Introducción

La creciente demanda de las fuentes hídricas superficiales o subterráneas y la variación extrema del sistema climático, ha generado escasez del agua en varias regiones semi áridas y áridas en el mundo, puesto que, los fenómenos extremos reducen la capacidad de provisión de la disponibilidad del recurso hídrico presentando una amenaza a la biodiversidad, al disfrute de los derechos humanos al agua potable, a la industria y al saneamiento en todo el mundo (ONU,2019).

Por otro lado, cerca del 20% de los acuíferos fueron sobreexplotados con fines domésticos e industriales, asimismo, se prevé que el consumo en la producción industrial incrementará cerca de 400% para el 2050 (UN-Water, 2015). Por consiguiente, se han adaptado estrategias sostenibles de uso doméstico e industrial, entre las principales se encuentra el Sistema de Captación de Agua Lluvia (SCALL). Esta técnica consiste en un conjunto de obras capaz de almacenar agua lluvia; para ello, existen diferentes técnicas que se agrupan en grandes modalidades de captación de agua lluvia, con fines domésticos e industriales (Velasco et al., 2000); en la actualidad, existen diferentes técnicas que se agrupan en grandes modalidades de captación de agua lluvia, con fines domésticos e industriales como:

Microcaptación: Consiste en la captación de la escorrentía superficial del agua lluvia in situ, específicamente en zonas con pendientes lisas, poco permeable y sin vegetación, y en zonas de área continua a través de surcos, bordos, camellones u hoyos, con el fin de aumentar la infiltración y el rendimiento de un cultivo (FAO & FIDA, 2013).

Macrocaptación: Presenta la misma técnica mencionada anteriormente, pero en áreas más grandes, ubicadas en el cultivo, en donde se incorpora un área productora de escorrentía superficial con pendientes más elevadas, suelo delgado y área rocosa, y estructuras de contención y conducción de agua, como acequias, canales, zanjas, surcos o camellones. El agua que se logra captar es utilizada para abastecer estructuras como estanques o embalses temporales (FAO & FIDA, 2013).

Cosecha de agua de techos y otras estructuras impermeables: Se basa en almacenar la escorrentía generada por superficies impermeables como techos, patios y establos, entre otros (FAO & FIDA, 2013); a través de un sistema donde se deriva, conduce, aprovisiona, trata y se distribuye el agua, de acuerdo a las diferentes finalidades industriales, (Velasco et al., 2000).

El desarrollo de cada una de las técnicas del (SCALL) mencionadas anteriormente, depende de características como la calidad del aire local, la geografía del terreno y el tipo de consumo o demanda, de modo que, previo al desarrollo, es necesario evaluar cada característica para identificar la viabilidad (FAO & FIDA, 2013). Esta revisión tiene como objetivo identificar el proceso de desarrollo de los sistemas de captación y aprovechamiento de agua lluvias, como alternativa sostenible de uso del recurso hídrico y combatiente de la problemática de desperdicio del mismo en diferentes actividades industriales, de igual forma identificar ¿Qué tan viable es un SCALL en el ámbito técnico y económico?

2. Metodología

El desarrollo metodológico se fundamentó en tres fases: búsqueda en bases de datos; selección de artículos científicos como libros, informes técnicos, entre otros; y la sistematización en matrices, considerando los atributos: tipo de investigación, zona de estudio, año de publicación, palabras claves, observaciones importantes, resumen y autoría.

Como etapa preliminar a la búsqueda de información, se hizo una pre-selección en las bases de datos relacionadas con ingeniería y desarrollo sostenible, para este caso: ScienceDirect, SpringerLink, Google Académico, repositorios de instituciones de educación superior nacionales e internacionales, instituciones gubernamentales nacionales e internacionales. Seguidamente, en cada base de datos se realizó la búsqueda utilizando los descriptores como: captación de agua lluvia, captación de agua lluvia en la agricultura, captación de agua lluvia en edificaciones, recolección de agua de lluvia en techos y se tuvo como criterio de selección en las búsquedas el tema central elegido donde se pretendió una búsqueda variada de información teniendo en cuenta las combinaciones, términos, aproximaciones, idioma y así lograr una selección gradual con características de línea de tiempo para así conocer la transición de métodos, resultados y análisis y se logró dando inicio desde el año 2000 hasta lo más actual 2020, considerando como prioridad los que el buscador arroja en la lista ya que son los que más se asocian a la temática como también los más consultados. Con el fin de consolidar información de los SCALL en las últimas dos décadas ya que se ha constituido como una estrategia de desarrollo sostenible.

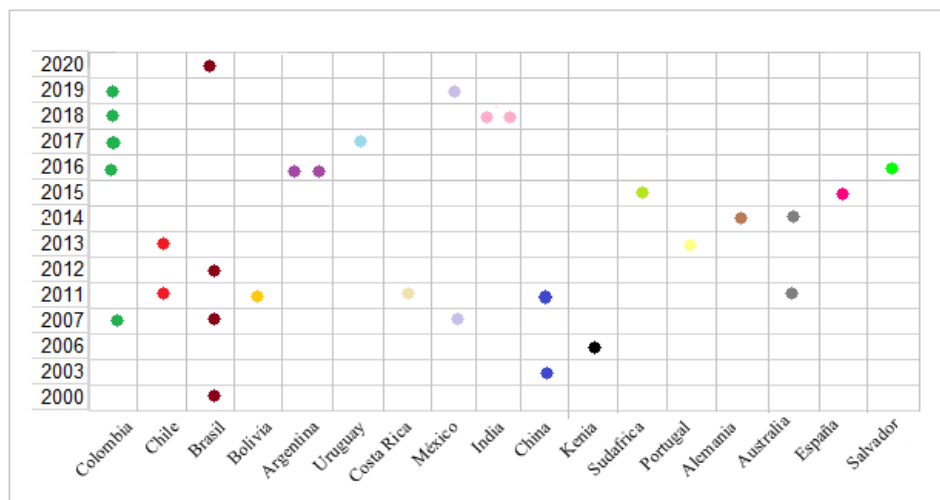


Figura 1. Número de documentos consultados por país y año de publicación por Rojas L, 2020.

En la Figura 1, podemos evidenciar que fueron consultados varios documentos por país y año de publicación en América Latina se encontró 19, en Europa 3, en Asia 4, en Oceanía 2 y en África 2, que representan el 63,33%, 10%, 13,33%, 6,66% y 6,66% respectivamente. Asimismo, se consultó otras fuentes para análisis del tema y estructuración de este artículo.

3. Desarrollo y discusión

3.1 Diseño de Sistemas de Captación de Agua Lluvia

Previo al diseño y dimensionamiento del sistema de captación de agua lluvia en las diferentes técnicas de microcaptación, macrocaptación y cosecha de agua en techos, es necesario determinar la dinámica de precipitaciones en el área de estudio a partir de estaciones pluviométricas, según, de (Brito, Becerra, & Gama, 2007), en la agroindustria la alta intensidad de precipitación de sistema in situ en cultivos, podría generar pérdidas de agua por escorrentía y en consecuencia erosión, puesto que, la capacidad de infiltración del suelo no es aceptable con respecto a la alta intensidad de precipitación, por consiguiente, es fundamental identificar los periodos más óptimos para la temporada de siembra e identificar la demanda de agua que se requiere. También, de acuerdo con, (González, Gutiérrez, & Becerra, 2017), anterior al desarrollo del SCALL en techos con fines industriales, es necesario identificar la precipitación total mensual y máxima en 24 horas,

con el fin de determinar el déficit del agua lluvia. Existen indicadores sencillos del déficit hídrico como se evidencia a continuación.

Tabla 1. *Indicadores de déficit del agua lluvia.*

Indicador	Descripción
Lluvia anual	Regiones que presentan precipitación anual por debajo de 1200 mm, es posible que exista déficit en periodos determinados durante el año.
Lluvia mensual	Áreas de estudio que presentan precipitaciones mensuales por debajo de 50 y 60 mm, evidencia déficit hídrico.
Vegetación	Áreas con poca vegetación presentan condiciones climáticas que generan el déficit hídrico.
Suelos salinos	La disposición de suelos salinos en el área de estudio genera una mayor evapotranspiración.

Nota: 1 mm de agua de lluvia equivale a 1 L de agua por m². Fuente: Adaptado de FAO, FIDA, (2013).

A su vez, el déficit de precipitación se puede analizar de acuerdo al comportamiento o intensidad en un tiempo determinado (Monjo, 2010), (Ver Tabla 2).

Tabla 2. *Déficit de precipitación según la acumulación en una hora.*

Intensidad	Acumulación en una hora
Débil	Entre 0.1 y 2 mm
Moderado	Entre 2.1 y 15 mm
Fuerte	Entre 15.1 y 30 mm
Muy fuerte	Entre 30.1 y 60 mm
Torrencial	Más de 60 mm

Nota: 1 mm de agua de lluvia equivale a 1 L de agua por m²
Fuente: Adaptado de Monjo (2010).

3.1.1 Diseño SCALL in situ.

El sistema *in situ* se basa en modificar la disposición del suelo para captar el agua lluvia en cultivos, principalmente anuales como por ejemplo el frijol, maíz y yuca, actualmente existen varias formas de modificación como se evidencia a continuación:

3.1.1.1 *Guimaraes Duque (GM)*

Este sistema consiste en la construcción de surcos por camellones altos y largos a través de un arado de disco, los cuales alcanzan una profundidad media de 0.25 m y un espaciamiento de 1.5 m (Figura 22). Una de las principales desventajas es que, solo se puede llevar a cabo mediante un tractor y solo permite una hilera de plantas por surco, en el área de siembra (Velasco et al., 2000).

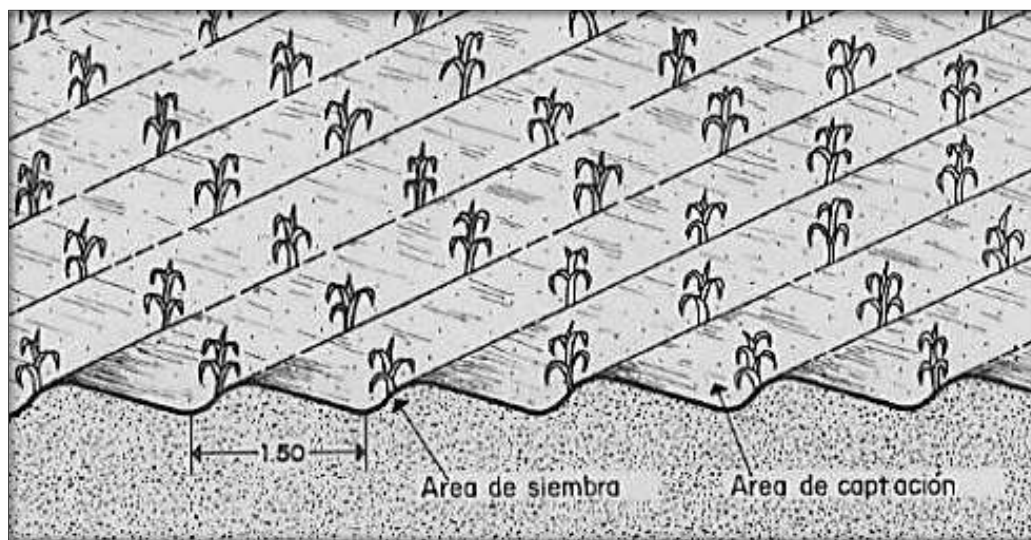


Figura 2. Dibujo esquemático sistema Guimaraes Duque (GM). Fuente: Velasco, et al, (2000).

3.1.1.2 *Crop Research Institute for the Semi-Arid Tropic ICRISAT.*

La denominación proviene de quienes crearon el sistema (Instituto de Investigación de Cultivos para el Trópico Semiárido), Brasil. Este sistema se basa en la formación de surcos de 0.20 m de altura por camellones un poco arriba del nivel de la superficie del suelo como se evidencia en la Figura 33. Las ventajas de este sistema son la poca fuerza de tracción y la disposición de dos líneas de cultivo en cada camellón, asimismo, la escorrentía superficial es menos en comparación con los otros sistemas, dado a la poca inclinación que existe en el plano formado por el camellón (Velasco, et al, 2000).

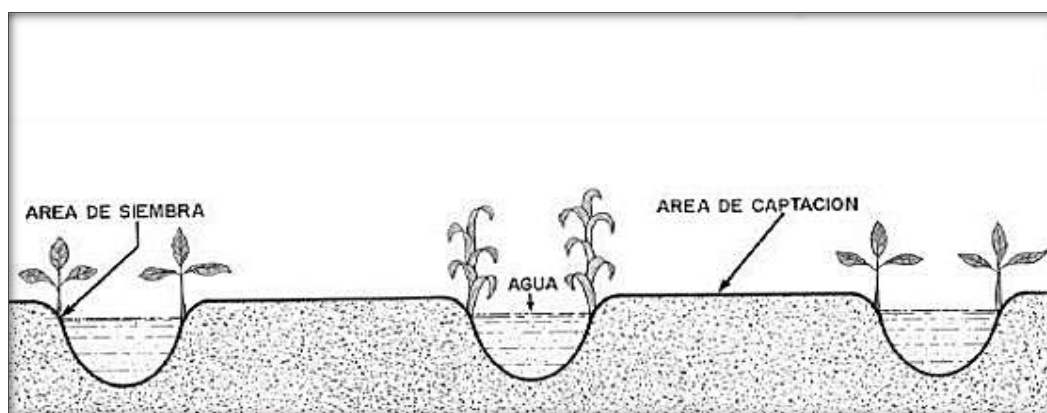


Figura 3. Dibujo esquemático sistema ICRISAT. Fuente: Velasco, et al, (2000).

3.1.1.3 Sistema W

Este sistema consiste en la formación de una secuencia alterna entre camellones largos y camellones estrechos en forma de sección triangular, la cual funciona como dos áreas de captación de agua lluvia (Ver Figura 4), la siembra del cultivo se realiza en cada lado del camellón. Además, este sistema permite la incorporación de materia orgánica con el fin de mejorar las condiciones de suelo (Velasco et al., 2000).

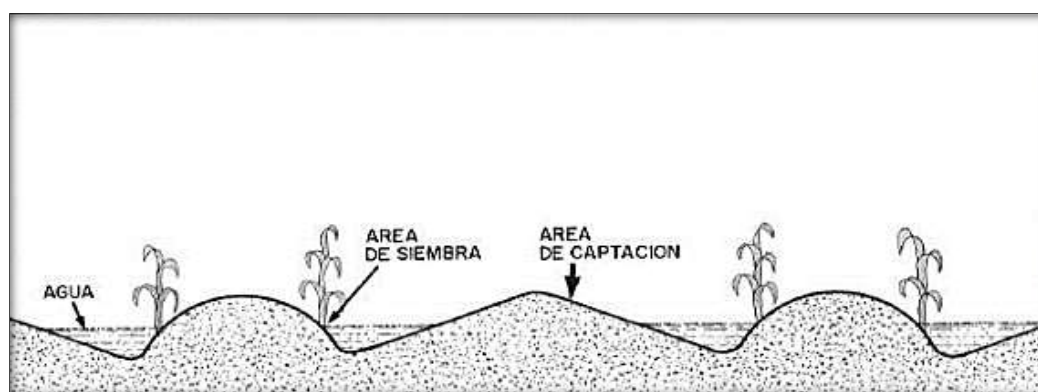


Figura 4. Dibujo esquemático sistema W. Fuente: Velasco, et al, (2000).

3.1.2 Diseño SCALL en techo

El diseño consiste en la incorporación de canales, bajantes, tanques de primeras aguas, tanques de almacenamiento transitorio y final, sistema de tratamiento, bombeo, control y drenaje. El agua

almacenada de este sistema, principalmente es para el uso no potable, es decir, es aprovechada en labores grises (riego, aseo de fachadas o baños, entre otros), (Calderón & Rivera, 2019).

Tabla 3. *Etapas del SCALL en techos.*

Etapas del SCALL en techo	Descripción
Captación	Superficie que permite recolectar el agua lluvia.
Recolección	Canales ubicados en los bordes de los techos, y tuberías que transportan el agua a un tanque de almacenamiento.
Sistema interceptor	Sistema de tratamiento de agua lluvia, opcional, de acuerdo a la finalidad
Bombeo	Sistema de bomba hidráulica la cual permite la distribución a la red hidráulica.
Sistema de control	Mecanismo por el cual se tiene control sobre la reserva de agua lluvia.

Nota: Adaptado de Calderón & Rivera, (2019).

3.1.3 Tratamiento de agua lluvia del SCALL en techo

Los sistemas de tratamiento de agua lluvia se adaptan al uso potable o no potable de cada industria. Los sistemas más utilizados son sedimentadores, en donde se precipitan los sólidos suspendidos en el agua. La estructura del sistema este compuesto por tres zonas (Vélez, 1999):

- Zona de entrada: Permite que el afluente del agua lluvia transite suave.
- Zona de sedimentación: Contiene las partículas sedimentadas.
- Zona de Salida: Flujo de salida de transito suave.

Actualmente, existen tres tipos de sedimentadores: flujo horizontal, vertical y laminar, cada uno debe cumplir con un tiempo de retención hidráulica de 2 a 4 horas, con el fin de presentar un porcentaje de remoción óptimo (Figura 5). Cabe recalcar que, si la concentración de solidos sedimentables en esta agua es mínima, se omite el uso de sedimentadores.

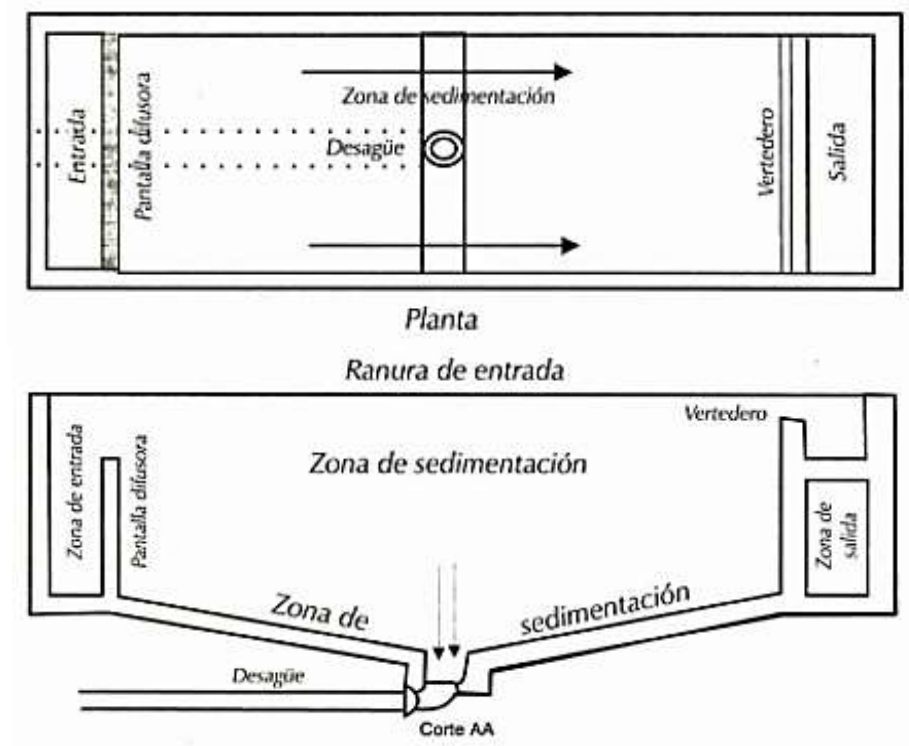


Figura 5. Sedimentador convencional. Fuente: Velez, 1999.

Seguidamente, se encuentra el sistema de filtros el cual permite la remoción de sólidos suspendidos, exceso de sales, sustancias tóxicas y microorganismos. El filtro de carbono activo es uno de los más empleados en industria, puesto que, presenta altas tasas de absorción en poco tiempo y es económicamente viable; en el mercado se encuentra desde \$79,55 USD, el cual varía respecto al caudal y el tamaño. A continuación, se evidencia algunos sistemas de tratamiento de acuerdo al tipo de industria (Tabla 4).

Tabla 4. *Sistemas de tratamiento de agua lluvia acorde a los tipos de industria.*

Industria	lugar de instalación	Tipo de tratamiento	Costos de producción (USD)	Referencia
Agroindustria	Beijing	Tanque de sedimentación y filtración	3.645,77, 39.942,88 y 60.954,5	Pieter van Dijk & Liang, (2011).

Nota: Partes por millón (ppm); cloro diatómico (Cl₂); milímetro (mm); carbonato de calcio CaCO₃. Por Rojas L.

Continuación Tabla 5.

Industria	lugar de instalación	Tipo de tratamiento	Costos de producción (USD)	Referencia
Salud en el sector terciario	Boyacá, Colombia	Bomba dosificadora con una dosis de 3.76 ppm Cl ₂	15.444,04	Celis Lugo, (2017).
Salud en el sector terciario	Bad Hersfeld, Alemania	Filtro de vórtice, malla de 0.28 mm	323.565,73	Koenig, (2014).
Hotelería	Santander, Colombia	Tanque de mezcla, para la solución 1:5 con agua de fuente fluyente y la adición de 35mg/L de CaCO ₃ , y filtración	N/A	Calderón Bautista & Rivera Quintero, (2019).

Nota: Partes por millón (ppm); cloro diatómico (Cl₂); milímetro (mm); carbonato de calcio CaCO₃. Fuente: Rojas L, 2020.

4. Aplicación de los sistemas de Captación de Agua Lluvia (SCALL).

La implementación de los SCALL ha incrementado en regiones áridas y regiones con déficit hídrico; y su vez, como estrategia sostenible de ahorro de agua en varios sectores de la industria, en países de Latinoamérica Herbas Meneses, (2011); Velasco, y otros, (2000); Celis Lugo, (2017). Moreira Neto, Castro Carvalho, Calijuri, & Aníbal Fonseca, (2012); Calderón Bautista & Rivera Quintero (2019). En Africa, Botha, Anderson, & Van Staden, (2015). En Asia, Yan Li, (2003); Pieter van Dijk & Liang, (2011), en la India, Prasad Sahu & Kant Verma, (2018); Md Lani, Syafiuddin, Yusop, Binti Adam, & Bin Mat Amin, (2018).

Cada una de las experiencias, han sido adaptadas de acuerdo a la necesidad de la industria, teniendo en cuenta el clima local, la geografía del terreno, el tipo de consumo o demanda y costos de operación.

4.1 Agroindustria

El sector primario de la agroindustria lo constituye las actividades agrícolas, pecuarias, forestales y pesqueras, las cuales a través de los años ha presentado afectaciones por el cambio climático y la contaminación de fuentes hídricas superficiales y subterráneas ANDI, (2017). Por tal motivo,

cada vez más se incorpora los SCALL in situ en la agroindustria, específicamente en la producción de cultivos anuales y perenne (Vargas & Pérez, 2018).

Actualmente existen varias formas de SCALL, que han sido desarrolladas en varias regiones del mundo, por ejemplo, en Chaco, Bolivia se llevó a cabo un proyecto de investigación en el que evaluaron el SCALL mediante surcos truncados en un cultivo de maíz (Figura 6); el sistema se basó en la construcción de un colector de agua metálico para la parcela de escurrimiento, el cual está compuesto por una plancha de 0.5 mm de espesor con un área 25 m² y un reservorio de escurrimientos que recibe el agua escurrida luego de cada evento de lluvia; el diseño de ensayo en surcos truncados es de 50 cm de largo x 24 cm de ancho y 10 cm de profundidad, de forma rectangular (Herbas Meneses, 2011).



Figura 6. Implementación del sistema surco truncado. Fuente: Meneses, 2011.

Asimismo, en el nordeste de Brasil, El Centro de Pesquisa do Trópico Semi-árido (CPATSA) estableció investigaciones adaptando algunos métodos para la explotación agrícola, tanto de cultivos perennes como anuales, en donde el sistema más óptimo fue ICRISAT, el cual se basó en la formación de surcos de 0.20 m de altura por camellones un poco arriba del nivel de la superficie del suelo (Velasco, et al, 2000). También, en Sudáfrica se desarrolló un estudio en zonas rurales semiáridas, con el fin de examinar el aumento de productividad en áreas de cultivos de maíz a través del sistema de captación de agua lluvia aplicando técnicas de labranza de surco, el cual

consistió en la creación de una cresta de contorno de hasta 20 cm de altura y ancho de 1 m (Botha, Anderson, & Van Staden, 2015).

De acuerdo a los casos de estudio mencionados anteriormente, en general cada uno de los SCALL reveló beneficios en la producción del cultivo, por ejemplo, en la investigación realizada por Botha, Anderson, & Van Staden, (2015), los valores de productividad en cinco ecotopos: Fort Cox / Valsrivier, Towoomba / Hutton, Towoomba / Arcadia, Glen / Swartland, fueron de 3.09 y 2.95 kg; 1.90 y 3.15 kg; 2.36 y 3.50 kg, respectivamente, por cada 1mm de agua lluvia recolectada y conservada. Asimismo, se demostró una mejora en el rendimiento del grano de maíz, en comparación con la técnica convencional de riego. (Velasco, et al, 2000)

Igualmente, el estudio realizado por Velasco, et al (2000), determinó que, con una captación de 400 mm de lluvia en un área de cultivo de 1 ha, la producción en el cultivo de frijol y yuca sería de 450 y 4000 kg, respectivamente; además, la renta neta fue de \$285,4 USD anuales por cada hectárea, presentando condiciones económicas viables. Por consiguiente, la implementación de los SCALL es una opción recomendable para el pequeño agricultor desde el punto de vista técnico y económico, puesto que, la aplicación del sistema reduce costos de producción siempre y cuando se aplique bajo un sistema de siembra directa.

Por otro lado, el SCALL de techo, a través de los años ha sido priorizado por parte de la agroindustria en varias regiones del mundo, como es el caso de los cultivos de pepino, lechuga y calabaza ubicados en tres invernaderos, en las zonas rurales de Beijing, (Van Dijk & Liang, 2011). En donde el agua lluvia atraviesa la película de plástico que cubre cada invernadero hasta una serie de zanjas o canales, ubicados en el borde del techo, luego por gravedad se trasladan al tanque de sedimentos para luego ser filtrada a través de una gran tubería subterránea, después, el agua limpia ingresa al tanque de almacenamiento, por último, se bombea el agua hasta una red de riego ubicada en el invernadero. La capacidad requerida en los invernaderos es de 50-100, 450-800 y 1300-2000 m³ y los costos de producción fueron de 3645,77, 39942,88 y 60954,53 USD respectivamente, además el periodo de recuperación de acuerdo a la capacidad requerida fue de 4 años, 2 años y 1 año, lo que significa que, la viabilidad financiera de los SCALL depende del tamaño y la demanda, es decir, que el sistema con la capacidad de 1300-2000 m³ es económicamente factible en comparación con los de 50-100, 450-800 m³ (Van Dijk & Liang, 2011).

Asimismo, en la meseta de Loess de China, se desarrolló un estudio con el fin de evaluar el desarrollo de la recolección de agua de lluvia y los usos para la producción agrícola. El SCALL consiste principalmente en un canal de escorrentía, tanque de sedimentos e instalaciones de almacenamiento, cada tanque subterráneo presenta forma de jarrones con diámetros que varían entre 2 y 4 m, con una profundidad entre 4 y 5 m y capacidad de 15 a 60 m³. El costo aproximado de producción de un tanque de 20 a 30 m³ es de 172,2 USD. Los tanques son a menudo situados alrededor de los patios para recoger la escorrentía de los tejados, también se distribuyen en el campo cerca de ambos lados del camino pavimentado y sin pavimentar para almacenar la escorrentía con fines de riego. Por otro lado, se evidenció que un tanque de 30 m³ satisface el riego de los cultivos de maíz y trigo, el cual cuenta con un área aproximada de 662 m². Además, el agua del sistema de recolección de agua de lluvia también se utilizó para criar aves de corral, ganado entre otros (Yan Li, 2003).



Figura 7. Tanques de almacenamiento de agua distribuidos en el campo de trigo para riego complementario. Fuente: Yan Li, 2003.

Conforme a lo anterior, la mayoría de los SCALL de techos en la agroindustria específicamente en riego de cultivos, presenta un tratamiento de sedimentación y filtración, no obstante, es necesario que en los estudios de evaluación de los SCALL inicialmente se determinen las concentraciones de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos previo al diseño del sistema de tratamiento, puesto que, es fundamental identificar el diseño de tratamiento más adecuado u óptimo y el nivel de riesgo asociados a la salud y el ambiente, para su previo uso en función de la normatividad de calidad de aguas para riego en la zona de instalación. Cabe resaltar que cualquier proyecto que tenga por objetivo captar/suministrar agua de lluvia para su consumo o uso debe

respetar los parámetros mundiales de calidad, microbiológicos, químicos, etc., establecidos por la OMS y los que, en el caso de que existan, exija la legislación del país en el que se opera.

La OMS, como base orientate adoptó la “Guidelines for drinking-water Quality. Fourth Edition. World Health Organization”, que sienta a nivel mundial las bases para el establecimiento de legislaciones y estándares nacionales de seguridad hídrica de suministro y gestión de aguas (López, 2017). Respecto a la relación a la normatividad colombiana, aún no precisa la regulación respecto al aprovechamiento de aguas lluvias, sin embargo, hay lineamientos que podrían optarse como por ejemplo la Ley 373 de 1997 y Proyecto de Ley 48 de 2017 del Senado, este último dicta normas para implementar e incentivar sistemas de recolección, tratamiento y aprovechamiento de aguas lluvias y de captación de energía solar y se dictan otras disposiciones.

4.2 Industria piscícola y ganadera

La producción pesquera en la actualidad es una industria que a través de los años ha presentado un crecimiento acelerado (Zuluaga, 2006); sin embargo, no en todas las regiones del mundo se presenta la misma situación puesto que el déficit hídrico imposibilita el desarrollo, como es el caso de la región en Chorotega, Costa Rica, en donde las pérdidas de producción han aumentado, por consiguiente, las universidades públicas de Costa Rica implementaron un SCALL de escorrentía. El sistema está compuesto de una estructura geotextil y geomembrana con una capacidad de almacenamiento de 340 m³. Durante la época lluviosa se utiliza para la producción de peces con la especie conocida como *Oreochromis niloticus* (Tilapia Gris). Según los datos de costo/beneficio, por cada dólar invertido, el proyecto genera un valor presente de \$3.16 USD con un costo de oportunidad de 7,96%, lo cual indica que, el SCALL es una alternativa de producción viable desde el punto de vista financiero (Medina Carrillo, Peña Cordero, & Obando Briceño, 2011). No obstante, es evidente que durante el diseño y el estudio de costo/beneficio del SCALL no se incorporó un sistema de tratamiento del agua, ni una investigación que determine la mortalidad de los peces con o sin tratamiento, en comparación con un estudio realizado en México, en donde se implementó un SCALL de techo para la producción de peces, con un área de captación de 100 m², un tanque de almacenamiento de 6.3 m³ y un sistema de tratamiento compuesto por un biofiltro de arena y una adición de bicarbonato de sodio y cal entre 25 y 40 g, con el fin de lograr una reducción de NO₂ y SST de hasta 36%, 43% respectivamente. A partir del previo tratamiento

para mejorar la calidad del agua se evidencio que, el sistema permitió mejorar la relación longitud/peso y una menor tasa de mortalidad en los peces, (Gallego Alarcón, Fonseca, García Pulido, & Díaz Delgado, 2019).

Por otro lado, los sistemas de SCALL, con fines de abastecer ganado bovino, han sido poco desarrollados e implementados a nivel mundial; en Colombia en la Vereda Marayal, del Municipio de Puerto López, Meta, se realizó un estudio de implementación de un SCALL de techo con un área neta de captación de 432 m² y tanque de almacenamiento construido en concreto, el cual permite un potencial de cosecha de agua de 822 m³/año, además, la distribución de agua se realiza mediante gravedad con el fin de reducir los costos de producción (Vargas, González, & Trujillo, 2018). No obstante, de acuerdo con (Sylvia,2019) la calidad del agua repercute en el rendimiento del ganado, dado que, hay una relación positiva entre el acceso del agua limpia y el desempeño en el crecimiento y la reproducción, por el contrario, los animales que beben agua de baja calidad son más propensos a contraer enfermedades, por tal motivo, es fundamental incorporar análisis fisicoquímicos para determinar el tratamiento previo al uso del agua para consumo bovino.

También cabe resaltar que combate la sequía que normalmente amenaza y provoca pérdidas millonarias no solo en la agricultura si no en la ganadería, debido al déficit del recurso hídrico contribuyendo al aumento de la pobreza y el desempleo; por ende, estos sistemas de captación de agua lluvia con tanque de almacenamiento puede ser utilizado con fines productivos en la época seca y en la época lluviosa.

4.3 Industria de la salud en el sector terciario

En el Valle de Tenza Garagoa, Boyacá, mediante programas como el de “Producción más limpia, Uso Eficiente y Ahorro de Agua y Hospitales Verdes”, se llevó a cabo un estudio en el Hospital Regional, con el fin de evaluar la posibilidad de utilizar el SCALL de techo. La infraestructura cuenta con un área de captación de 3537 m², permitiendo de este modo, la construcción de un tanque de 27.9 m³. Por otro lado, a partir de los análisis fisicoquímicos se determinó que la calidad del agua es favorable para uso sanitario, no obstante, se sugiere el uso de una bomba dosificadora con una dosis de 3.76 ppm Cl₂. El costo de producción para la implementación de SCALL es de 15.444,04 USD y los costos fijos anuales serian de 250,04 USD, concluyendo que el sistema es viable para su desarrollo (Celis, 2017).

A partir del estudio mencionado anteriormente, se evidencio que no se incluye un estudio de confiabilidad que determine si el sistema SCALL abastece una porcentaje aceptable de la demanda del recurso hídrico dentro de las instalaciones del hospital; En contraste, con un estudio, en donde el Estado Federal de Hesse generó un subsidio para la instalación de un SCALL de techo, en el hospital central en la ciudad de Bad Hersfeld, Alemania, el cual permitió la construcción de un tanque de almacenamiento de 29.4 m^3 y un filtro de vórtice que contiene una malla de 0.28 mm , con el fin de remover partículas, sedimentos y contaminantes y así cumplir con los parámetros de calidad para el año 1995, sin embargo, el sistema se amplió para el año 2001 y 2008, con el fin obtener un total de 8 tanques de almacenamiento de 2000 L. El sistema actualmente logra suministrar 111 inodoros, además, permitió el circuito de refrigeración para sistemas de esterilización, riego y estanques, y de acuerdo con la amortización se evidenció que, durante un periodo de 20 años, la clínica ahorro una suma de 323,565,73 USD con el SCALL de techo (Koenig, 2014).

4.4 Industria aeroportuaria

El mayor consumo de agua en los aeropuertos es de uso no potable, por consiguiente, los SCALL son propicios para su implementación en infraestructuras que cuentan con grandes áreas de captación como, por ejemplo, el Aeropuerto Internacional Tancredo Neves, en Confins, estado de Minas Gerais, Brasil, el cual tiene un área captación total de $85,000 \text{ m}^2$, tanque de almacenamiento de 1000 m^3 y una demanda de agua no potable del 65%. Conforme a los estudios de confiabilidad, se estimó que el SCALL de techo puede satisfacer el 84% de la demanda con un 80% de confiabilidad. Además, existen otras áreas óptimas para la captación de agua lluvia como azoteas y pistas, las cuales podrían captar agua para el riego de zonas verdes y recarga de acuíferos (Moreira Neto, Castro Carvalho, Calijuri, & Aníbal Fonseca, 2012).

En contraste con el estudio anteriormente mencionado, en el Aeropuerto Swami Vivekananda, India, se desarrolló un SCALL de techo, para consumo humano. El aeropuerto presenta una cubierta de captación de 38955.62 m^2 y un sistema de tratamiento de filtro lento (SSF) en 200 L/h , el cual permite disminuir la concentración de algunos parámetros para cumplir con los límites permisibles para consumo humano en la India. Adicionalmente se evidenció que, en total el SCALL permite solo cubrir el 30% de la demanda diaria total, Prasad Sahu & Kant Verma, (2018);

por lo que es necesario, aumentar la capacidad de los tanques de almacenamiento, con el fin de mejorar la confiabilidad de sistema, teniendo en cuenta el aumento de la demanda del recurso hídrico.

4.5 Industria Hotelera

El aumento de la demanda del agua potable, ha incentivado emplear alternativas sostenibles para mejorar el balance hídrico en la industria hotelera, sin embargo, el desarrollo de los SCALL, no han sido muy implementados, puesto que el tiempo de retorno de inversión es a largo plazo, por lo que, las iniciativas son precarias. No obstante, en el hotel Alejandría Resort localizado en el municipio de San Gil, Santander, Colombia, se desarrolló un proyecto de SCALL de techo, para proveer agua para consumo humano. El área de estudio cuenta con una oferta pluvial anual promedio de 1185.5 mm de lluvia/m², sin embargo, por la escasa disponibilidad de espacio para la construcción de unidades adicionales de almacenamiento de agua lluvia, no fue posible aprovechar el 100% del potencial pluvial de captación del hotel.

Por otro lado, de acuerdo con la caracterización fisicoquímica y microbiológica, se determinó que las muestras presentan niveles de Índice de Riesgo de la Calidad del Agua (IRCA) entre el 35% y 58.6%, excediendo el máximo permitido definido a partir del artículo 13 del decreto 2115 de 2007, en el que se determina que el IRCA, no debe ser superior al 5%; valores superiores están sujetos a sanciones por parte de la autoridad sanitaria. En consecuencia, se plantearon estrategias de tratamiento como la mezcla con agua fluyente, la adición de 35 mg/litro de mezcla de CaCO₃ y la adición de sulfato de aluminio tipo B, que mitigaron dicho riesgo de manera exitosa, reduciendo el índice (IRCA) hasta un cero por ciento. El diseño del SCALL del hotel se basa inicialmente en la conducción del agua pluvial hasta un tanque de lavado de primeras aguas, seguidamente, el agua pasa a un tanque de almacenamiento pluvial y por bombeo se traslada a un tanque de mezcla, en donde se realiza la solución 1:5 con agua de fuente fluyente y la adición de 35mg/L de CaCO₃, para que finalmente, pueda ser conducida hasta el tanque de almacenamiento, (Calderón & Rivera, 2019).

4.6 Instituciones educativas y centros comerciales

A nivel mundial se han implementado SCALLs en instituciones educativas y centros comerciales. En estados unidos los sistemas de captación de agua de lluvia son utilizados en 15 estados. Se estima que más de medio millón de personas se abastecen de agua para usos doméstico o propósitos agrícolas, comerciales e instituciones educativas. Por otro lado, también se encuentra Canadá que provee de un subsidio en la compra de tanques para el aprovechamiento del agua de lluvia y se implementan tanto en instituciones educativas como comerciales y otros sectores (Garduño, 2019).

En el año 2008, la Xunta de Galicia, España, promovió un Decreto, por el cual se obliga a todas las infraestructuras a instalar un sistema de captación de agua lluvia para su reutilización. En el marco de estas determinaciones, la Universidad Politécnica de Valencia en la ciudad de Granada diseño y construyó un SCALL en techo para uso no potable, en un edificio de uso docente. De acuerdo a la precipitación y al área de captación, se consideró necesario un tanque de almacenamiento de 25 m³ prefabricado de poliéster con fibra de vidrio horizontal y una bomba para transportar el agua a la parte superior del edificio con fines de riego. Los costos de implementación fueron de 29.918,35 USD (Solanes Císcar, 2015).

Otro claro ejemplo es México donde También han desarrollado proyectos de investigación en los que se ha adaptado tecnología en comunidades rurales de varias regiones del país para uso y consumo humano. En este sentido, se diseñó y construyó en las instalaciones del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), una casa modelo autosuficiente (Duran et al. 2010).

Por su parte, el Centro Internacional de Demostración y Capacitación en Aprovechamiento del Agua de Lluvia del Colegio de Postgraduados de la Universidad Autónoma Chapingo (México), CIDECALLI-CP, constituido en 2003, ha dirigido sus actividades para el consumo doméstico, cría de peces de ornato y comestibles en sistemas de producción libre y de jaulas flotantes con uso alternativo en el cultivo de hortalizas en huerto familiar, planta purificadora de agua de lluvia, abrevadero para pequeñas explotaciones ganaderas, riego en invernaderos, producción intensiva de conejos y riego de auxilio y cultivo comercial de peces, ver Figura 8 (Duran et al. 2010).

A nivel Colombia, se cuenta con experiencias en La Pontifica Universidad Javeriana, con el fin de contribuir al desarrollo sostenible del campus y cumplir con el plan de manejo ambiental, en donde se analizó la viabilidad económica y técnica del aprovechamiento del agua lluvia como una alternativa para el riego y el lavado de zonas duras y fachadas del campus en la sede Bogotá,

mediante la estimación de los volúmenes disponibles de agua lluvia y de los posibles puntos de recolección, análisis de la calidad del agua lluvia recolectada y el cálculo de los costos de construcción de la infraestructura básica para recolectar agua lluvia.

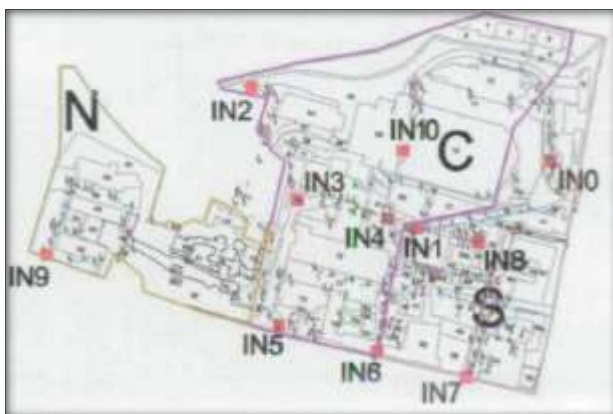


Figura 8. Localización de puntos (IN) de recolección de agua lluvia. Botero et al, 2007.

Los resultados de este estudio indicaron que, los puntos IN8 y IN10 captan la mayor cantidad de agua escorrentía, además, por la condición topográfica permite la construcción de los tanques de almacenamiento; asimismo, el consumo de lavado de zonas duras es de $328,5 \text{ m}^3/\text{año}$, el lavado de fachadas representa $60 \text{ m}^3/\text{año}$, y los volúmenes necesarios requeridos en los puntos IN8 e IN10 son de 51 m^3 y de 73 m^3 , respectivamente (Figura 8); por otro lado, los análisis preliminares de calidad de agua sugieren el uso para riego y lavado de zonas duras y fachadas. Sin embargo, en una de las muestras analizadas, presento una proporción de coliformes fecales bastante elevada (más de 1.000 UFC/ 100 ml) (Lara, y otros, 2007); por tal motivo, es necesario determinar sistemas de desinfección como por ejemplo la adición de hipoclorito de sodio, con un tiempo de retención de hasta 20 minutos para remover cerca del 95 al 99 % de coliformes totales. Por otra parte, se determinó que el SCALL es viable técnica y económicamente, dado que, los costos de implementación fueron de 4262,89 USD (Lara, et al, 2007). Por otro lado, es importante recalcar que la Universidad ECCI con un área de 18.000 metros cuadrados, distribuidos en 15 pisos y capacidad para 4.800 personas, también es otra institución educativa en Colombia que cuanta con un sistema de aprovechamiento del agua lluvia, que permite una recolección y tratamiento de aproximadamente 65 por ciento del agua lluvia que llega al edificio, sin embargo no se encuentra mucha información de su desarrollo (El Tiempo, 2018)

No en todos los casos se evidencia una viabilidad técnica y económica óptima para el desarrollo del SCALL de techo, tal es la experiencia del campus de la Universidad Tecnológica de Swinburne Australia, en donde se instalaron dos tanques de almacenamiento subterráneos de 185 m³ y 110 m³, sin previo estudio de optimización de acuerdo a la demanda y las precipitaciones en la zona. En función de lo anterior, en el año 2011, se desarrolló un estudio para adecuar el diseño de SCALL en techo, donde se determinó que, los costos presentan periodos de recuperación de inversión hasta 17 años, por tal motivo, presenta una viabilidad financiera no óptima para su implementación (Alam, Shanableh, Rahmanc, & Ahsand, 2011).

Por otro lado, el aumento de SCALL para edificios comerciales, ha sido una estrategia viable, dado a las grandes áreas de captación con las que cuentan, por ejemplo, en un edificio comercial en Braga Portugal, desarrolló un estudio para definir la mejor configuración del SCALL. La infraestructura cuenta con una zona de captación en la parte sur de 16.070 m² y en la parte norte 20.800 m², además, presenta un consumo en inodoros, lavado de pavimentos e irrigación de 12 L/día y entre 1.5 a 5 m³/día respectivamente, por lo cual, se consideró implementar el sistema bajo un tanque de almacenamiento de 1163 m³ para satisfacer la demanda total no potable (Matos, Santos, Pereira, Bentes, & Monzur, 2013).

También, en un edificio comercial en Brisbane, Australia. El Sistema de captación de agua lluvia en el edificio, consiste en un área de captación de 1600 m², en donde, el agua se dirige por gravedad a un tanque de almacenamiento de sótano de 110 m³, seguidamente, el agua se bombea nuevamente al techo a dos tanques más pequeños de 21 y 28 m³, que se utilizan para satisfacer la descarga de 147 inodoros y riego de zonas verdes. Por otro lado, el SCALL presento un nivel de confiabilidad regular a moderada, dado que, solo el 37% de la demanda no potable fue satisfecha por el agua lluvia (Cooka, Sharmaa, & Gurung , 2014).

Para finalizar, es pertinente mencionar una propuesta de un sistema de aprovechamiento de agua lluvia como alternativa para el ahorro de agua potable que se realizó en la institución educativa María Auxiliadora de Caldas, Antioquia donde los componentes utilizados para el desarrollo del diseño son: captación, recolección y conducción, interceptor de primeras aguas, almacenamiento, red de distribución y bombeo. De acuerdo al estudio que realizaron para la implementación de SCALL, dio como resultado que el proyecto cumple el objetivo principal en cuanto a que es técnicamente viable para hacer un uso eficiente del agua dentro de la institución educativa; sin embargo, la inversión inicial es muy alta, por lo que no logra ser un sistema de bajo

costo, lo que puede volverlo inaccesible si no se cuenta con la adecuada financiación por parte de alguna entidad que se encuentre interesada en patrocinar este tipo de proyectos que apuntan a la sostenibilidad de la Institución. Según los análisis realizados el valor para el desarrollo de captación de agua lluvia en la institución es el siguiente (Castañeda, 2020).

Tabla 6. Presupuesto para el sistema de aprovechamiento de aguas lluvias

ITEM	VALOR (\$)
Tanque de almacenamiento de 200m ³	83'015.000
Interceptor de primeras aguas de 2000L	705.000
Sistema de bombeo	4'722.000
Sistema de recolección y conducción	1'161.000
Red de distribución	4'339.000
Mantenimiento del tanque de almacenamiento (2 veces al año)	400.000
Operación y mantenimiento del sistema de bombeo	4'700.000
TOTAL	99'042.000

Nota: Estimación del presupuesto para la construcción del SCALL en la institución María Auxiliadora Caldas, Antioquia: Fuente: Castañera, 2020.

De acuerdo a lo anterior, para realizar el proyecto se necesita una inversión inicial alta, según la Tabla 6, lo que indicaría que en el primer año se debería pagar un costo de 99.042.000 pesos colombianos; sin embargo, es pertinente tener en cuenta los tiempos climáticos, por ello también se realizó una investigación en cuanto al fenómeno de épocas de lluvia (Niña) y seca (El Niño), donde se concluyó una necesidad en la demanda de acuerdo al consumo de agua en los meses de febrero, marzo y abril, teniendo que cubrir con agua potable la demanda estos meses, siendo este de 550,68 m³ y teniendo en cuenta el valor por metro cúbico de agua potable de 1075,92 pesos, dando un total adicional de 592.500 pesos que entran al presupuesto para la construcción del SCALL, cuya inversión del proyecto sería de 99'634.500 pesos (Castañeda, 2020).

5. Conclusiones

El cambio climático y el aumento de la demanda del recurso hídrico a través de los años ha generado una crisis de escasez, por tal motivo, se evidenció que en general en varias regiones del mundo se desarrolla los SCALL, como una alternativa sostenible para el uso del recurso hídrico de acuerdo a cada una de las necesidades en la industria.

En el caso de la agroindustria, se evidenció que el mayor consumo de agua se destina para la realización de cultivos en zonas rurales de Latino América, Sudáfrica y China, en tal virtud se han implementado en varios cultivos SCALL in situ y de techos, luego de evidenciar los resultados y las cifras obtenidas en los estudios realizados, se puede deducir que los SCALL in situ, son una solución muy apropiada para controlar la sequía y a su vez, permite mejorar las condiciones de productividad, considerándose como una práctica óptima para el pequeño agricultor, mientras que los SCALL de techos, al necesitar sistemas de sedimentación podrían necesitar una mayor inversión.

Un tema a considerar es que en la mayoría de estos estudios no se determinan o documentan las concentraciones de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en el agua recolectada, hecho que, de no ser tomado en cuenta, podría repercutir en la calidad del cultivo.

De acuerdo con los SCALL en la industria piscícola, se probó principalmente SCALL de techos y de escorrentía, se determinó después de varios estudios que un SCALL de techo con un sistema de tratamiento del agua previo a su uso es viable desde el punto de vista financiero, según las investigaciones en Costa Rica los datos de costo/beneficio, por cada dólar invertido, el proyecto genera un valor presente de \$3.16 USD, sin embargo, no en todos los estudios se incorpora un sistema de tratamiento del agua, ni una investigación que determine la mortalidad de los peses con o sin tratamiento, lo que repercute en la rentabilidad obtenida al final del periodo.

Asimismo, en los sistemas de SCALL de techo, con fines de abastecer ganado bovino, han sido poco desarrollados, se podría asociar con la falta de una legislación y procedimientos definidos, no obstante, para su desarrollo según estudios consultados se recomienda incorporar un análisis fisicoquímico para determinar el tratamiento previo al uso del agua para consumo bovino, ya que, hay una relación positiva entre el acceso del agua limpia y el desempeño en el crecimiento y la reproducción del ganado.

Por último, en la industria aeroportuaria, se estima que en general existen infraestructuras que tienen capacidad óptima (áreas de captación de más de 2000 m²) para el desarrollo de los SCALL de techo con fines potables y no potables, dado a las amplias áreas de captación, las cuales permiten satisfacer la demanda en la mayoría de los casos.

Caso contrario son los SCALL en techo de instituciones educativas y centros comerciales, donde no todos los estudios presentaron una viabilidad técnica y económica aceptable, debido principalmente a que en estos estudios no se logra satisfacer la demanda mientras se mantenga viable el costo de inversión que estos SCALL requieren, haciendo indispensable el auspicio económico estatal o gubernamental.

Hay que recalcar, una situación característica en la revisión documental de SCALL, y es que en Latino América los procesos no están bien definidos ya que, en algunos países, no existe una legislación buena y aplicable a la realidad nacional de cada país acerca de esta temática, por lo que se hace necesario recurrir a lineamientos internacionales como los que establece la OMS y de estudios exitosos de otros continentes.

6. Bibliografía

- Alam Imteaz, M., Shanableh, A., Rahmanc, A., & Ahsand, A. (2011). Optimisation of rainwater tank design from large roofs: A case study in Melbourne, Australia. *Resources, Conservation and Recycling*. Vol 55 (11), p., 1022 p.,1029. Recuperado el día 16 de Julio del 2020 de la base de datos ScienceDirect.
- Asociación Nacional de Empresarios de Colombia . (2017). Hacia la transformación de la cadena de valor agroindustrial: Estrategia para una nueva industrialización. Recuperado e 17 de Julio del 2020, de la fuente <http://proyectos.andi.com.co/Libro2/Paginas/assets/docs/capitulo-07.pdf>
- Botha, J., Anderson, J., & Van Staden, P. (2015). Rainwater harvesting and conservation tillage increase maize yields in South Africa. *Water resources and rural development*, Vol 6, p., 66 - p.,77.
- Calderón, D., & Rivera, L. (2019). *Diseño de un sistema de captación, almacenamiento y readecuación de las aguas pluviales para el Hotel Alejandría Resort, en el municipio de San Gil, Santander*. Tesis de grado Maestria. Universidad Santo Tomás, Bucaramanga, Colombia. Disponible en el sitio web de la fuente, <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/21497/2020CalderonLizandro.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Carrasco, J., & Felmer, S. (2011). *Cosecha de agua lluvia que permite resolver la escasez de agua en las áreas de Secano de la zona central de Chile*. Recuperado el 18 de Julio del 2020, del sitio web <http://biblioteca.inia.cl/medios/biblioteca/ta/NR38034.pdf>
- Castañeda, N. (2020). Propuesta de un sistema de aprovechamiento de agua lluvia en la Institución Educativa María Auxiliadora de Caldas. *Gestión y Ambiente*, Vol 13 (2), p., 25-p.,39. Recuperado el día 20 de Julio del 2020 de la base de datos Bdigital
- Celis, D. (2017). *Evaluación técnica y económica de la factibilidad del uso de agua lluvia en el sector hospitalario*. Tesis de grado Maestria. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá,

- Colombia. Disponible en el sitio web de la fuente, http://bdigital.unal.edu.co/64286/1/TM_DenniseLCelisLugo%20%20dlcelisl.pdf
- Cooka, T., Sharmaa, A., & Gurung , T. (2014). Evaluation of alternative water sources for commercial buildings: A case study in Brisbane, Australia. *Resources, Conservation and Recycling*, Vol 89, p.,86 - p.,93.
- de Lima Brito, L., Beserra de Moura, M., & Brito Gama, G. (2007). Potencialidades da água de chuva no Semi-Árido Brasileiro. Recuperado el 23 de Julio del 2020, del sitio web, <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/157643/1/Brito.Livroaguachuva.pdf>
- El Tiempo (2018). Edificio del centro de Bogotá fue remodelado y ahora es inteligente. *Recuperado el 23 de Julio del 2020, del sitio web, https://www.eltiempo.com/bogota/edificio-inteligente-en-el-centro-de-bogota-306598.*
- FAO & FIDA. (2013). Captación y almacenamiento de agua de lluvia: Opciones técnicas para la agricultura familiar en América Latina y el Caribe. Recuperado el 24 de Julio del 2020, del sitio web, <http://www.fao.org/3/i3247s/i3247s.pdf>
- Gallego, I., Fonseca, C., García, D., & Díaz, C. (2019). Proposal and assessment of an aquaculture recirculation system for trout fed with harvested rainwater. *Aquacultural Engineering*, Vol 87, p.,99 - p., 116.
- Garduño, M. (2019). *Antecedentes de la captación de agua lluvia*. Recuperado el 25 de Julio del 2020, del sitio web, <https://www.ministeriodesalud.go.cr/index.php/investigacion-y-tecnologia-en-salud/inventarios/inventario-tecn-de-agua-de-consumo-humano/captacion-de-agua-para-consumo-humano/captando-agua-de-la-lluvia/presentacion-power-point/1852-antecedentes-de-la-capta>.
- González, J., Gutiérrez, C., & Pedrealba, I. (2017). *Diseño de captación y purificación de aguas lluvias para la fábrica de lácteos Belén. Tesis de grado*. Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia. Disponible en el sitio web de la fuente, <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/38441/Juan%20Gonz%C3%A1lez%2C%20Cristian%20Gutierrez.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Herbas, J. (2011). Evaluación de técnicas de captación de agua de lluvia “in situ” en el cultivo de maíz (zea mays l.) a temporal, en la región del Chaco Boliviano. Ediciones INTA, Publicado en el 2016.
- Koenig, K. (2014). *Rainwater harvesting: Vortex filters make cost savings at German hospital. Filtration+Separation*. Recuperado el 26 de Julio del 2020, del sitio web, <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1256384/FULLTEXT01.pdf>
- Lara, J., Torres, A., Campos, M., Duarte, L., Echeverri, J., & Villegas, P. (2007). Aprovechamiento del agua lluvia para riego y lavado de zonas duras y fachadas en el campus de la Pontificia Universidad Javeriana. Vol 11(2), p., 34-p.,67
- López, N., Palacios, O., Anaya, M., Chávez, J., Rubiños, J., & García, M. (2017). Diseño de sistemas de captación del agua de lluvia: alternativa de abastecimiento hídrico. *Revista Mexicana de ciencias agrícolas*, Vol 8 (6), p.,1433-p.,1439. Recuperado el 27 de Julio del 2020 de la base de datos Redalyc.
- López, G. (2016). Tecnología de ferrocemento para captar y acumular agua con fines múltiples. *Agua de calidad con equidad : experiencias, debates y desafíos sobre acceso, tratamiento y uso del agua*, Ediciones INTA, p.,97-p.,98.
- Matos, C., Santos, C., Pereira, S., Bentes, I., & Monzur, I. (2013). Rainwater storage tank sizing: Case study of a commercial building. *International Journal of Sustainable Built Environment*, Vol 2, p.,109-p.,118. Recuperado el 27 de Julio del 2020 de la base de datos ScienceDirect.
- Md Lani, N., Syafiuddin, A., Yusop, Z., Binti Adam, U., & Bin Mat Amin , M. (2018). Performance of small and large scales rainwater harvesting systems in commercial buildings under different reliability and future water tariff scenarios. *Ciencia del medio ambiente total*, Vol. 636, p., 1171-p.,1179.
- Medina Carrillo, R., Peña Cordero, W., & Obando Briceño, M. (2011). Sistemas de captación de agua lluvia para la producción agropecuaria sostenible. *Revista Nacional de Administración* Vol 3 (1), p.,107-p.,120

- Monjo, R. (2010). *El índice n de la precipitación intensa*. Recuperado el 28 de Julio del 2020, del sitio web, https://www.researchgate.net/publication/268417628_EL_INDICE_n_DE_LA_PRECIPITACION_INTENSA
- Moreira, R., Castro, I., Calijuri, M., & Aníbal, S. (2012). Rainwater use in airports: A case study in Brazil. *Resources, Conservation and Recycling*, vol 65 Vol 68, p.,36-p.,43.
- Organización de Naciones Unidas. (2019). Informe de políticas de ONU-AGUA sobre el Cambio Climático y el Agua. Organizacion de las naciones unidas. Recuperado el 28 de Julio del 2020, del sitio web, https://www.unwater.org/app/uploads/2019/12/UN-Water_PolicyBrief_Water_Climate-Change_ES.pdf
- Ovejero, O. (2016). Aprovechamiento del agua lluvia con represas comunitarias. *Agua de calidad con equidad : experiencias, debates y desafíos sobre acceso, tratamiento y uso del agua*. Ediciones INTA.
- Prasad Sahu, D., & Kant Verma, M. (2018). Rainwater Harvesting an Alternative Water Resource in Airports: A Case Study in Raipur. *International Journal of Engineering Technology Science and Research (IJETSR)*, Vol 5, p., 26 -p., 35.
- Pieter van Dijk, M., & Liang, X. (2011). Economic and financial analysis on rainwater harvesting for agricultural irrigation in the rural areas of Beijing. China. *Resources, Conservation and Recycling*. Vol 55 (11), p.,1100-p.,1108. Recuperado el 27 de Julio del 2020 de la base de datos ScienceDirect.
- Solanes, B. (2015). Instalación para la recuperación de aguas pluviales y su posterior uso. *Tesis de grado*. Universidad Politécnica de Valencia, Granada, España. Disponible en el sitio web de la fuente, https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/58498/INSTALACION%20PARA%20LA%20RECUPERACION%20DE%20AGUAS%20PLUVIALES_14469146960435007725643192110490.pdf;sequence=
- Sylvia, M. (2019). *Agua de buena calidad: Su importancia en la producción pecuaria*. Recuperado el 29 de Julio del 2020, del sitio web, https://issuu.com/studio7.bo/docs/revista_crea_17

- UN-Water. (2015). *Informe de las Naciones Unidas sobre los recursos hídricos en el mundo 2015. United Nations Educational Scientific and Cultural Organization. Recuperado e 29 de Julio del 2020, del sitio web, http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/HQ/SC/images/WWDR2015Facts_Figures_SPA_web.pdf*
- Vargas, J. (1999). Operación y mantenimiento de plantas de potabilización de agua. *Recuperado el 26 de Julio del 2020, del sitio web, https://repositorio.sena.edu.co/sitios/calidad_del_agua/operacion_potabilizacion/index.html#*
- Vargas Pineda, O., González Garcia, N., & Trujillo González, J. (2018). Análisis de un sistema de cosecha de agua lluvia a pequeña escala con finalidad pecuaria. *Revista Luna Azul. Vol 46, p.,20-p.,32.*
- Vásquez, T., Alfaro, R., Sibajo, J., Hernández, G., & Valdés, J. (2012). Composición química del agua lluvia y de niebla recolectada en la reserva biológica Monteverde. *Revista Uniciencia, Vol. 26, (2), p., 51-p.,63. Recuperado el 27 de Julio del 2020 de la base de datos Redalyc.*
- Velasco, H., Silva , A., Veenhuizen, R., Pérez, S., Prieto, M., Anaya, M., Morales, R. (2000). *Microcaptación, cultivos anuales y perennes, Brasil. Manual de captación y aprovechamiento del agua de lluvia. Recuperado el 29 de Julio del 2020 del sitio web, <http://www.fao.org/3/ai128s/ai128s00.pdf>*
- Yan Li, X. (2003). Rainwater harvesting for agricultural production in the semiarid loess region of China. *Food, Agriculture & Environment, Vol 1 (3), p., 282-p.,285. Recuperado de la base de datos Researchgate*
- Zuluaga, F. (2006). La piscicultura, una industria promisoría. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias. Vol 19 (2). Recuperado de la base de datos Scielo.*