

# Estudio de prefactibilidad para un sistema de recolección de agua lluvia en la Universidad EAFIT

Daniela Restrepo Arismendi 1<sup>a</sup> , Zarith Isabella Restrepo Giraldo 2<sup>a</sup>

Maria Catalina Rojas Cely<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Estudiante de Ingeniería de Procesos, Universidad EAFIT, Medellín Colombia

<sup>b</sup> Profesor, Asesor del Proyecto de Grado, Departamento de Ingeniería de Procesos, Universidad EAFIT, Medellín, Colombia

---

## Resumen

Actualmente la demanda de recursos hídricos se incrementa cada vez más y con ello la disponibilidad de agua dulce disminuye, por lo que es necesario pensar en alternativas de uso eficiente de esta. A continuación, se expone el estudio de prefactibilidad para un sistema de recolección de agua lluvia en la Universidad EAFIT sede Medellín, el estudio está basado en la metodología ONUDI donde se desarrollaron los estudios sectorial, de mercado, técnico, ambiental y financiero para determinar la viabilidad de este además de los beneficios sociales que este podría tener. Si bien se tiene un ahorro de agua potable del 13.79% y ahorro económico del 14.14%, teniendo en cuenta lo anterior se determinó que el proyecto no es viable financieramente pero que trae consigo beneficios sociales y ambientales como el ahorro en el consumo de agua potable para usos que no requieren su potabilización, el posicionamiento de la Universidad en ránkines verdes y el reconocimiento como una institución que se preocupa por la sostenibilidad.

## 1. Introducción

Ante la creciente demanda de recursos naturales, la tendencia de edificaciones sostenibles y los procesos de expansión en las actividades del ser humano, la población se enfrenta a nuevos retos ambientales como son la contaminación, el aumento de la demanda energética y la escasez de recursos naturales renovables y no renovables; esto obliga al hombre a tomar conciencia sobre el impacto en los ecosistemas que habita. En el caso colombiano, a pesar de ser un país megadiverso y rico en recursos naturales, se ha buscado aumentar la disponibilidad de agua dulce a través de la implementación de sistemas de recolección de agua lluvia (SRAL) para actividades de jardinería, lavado de vehículos, limpieza de superficies, depósitos de agua almacenada contra incendios e instalaciones sanitarias [1].

Teniendo en cuenta los propósitos del itinerario 2030 de la Universidad EAFIT, con el objetivo “Sostenibilidad que genere confianza y esperanza”, y la estrategia “Contribuir de manera activa a la conservación y mejoramiento de los ecosistemas naturales, fortaleciendo una cultura responsable que aporte al desarrollo sostenible” se busca fomentar instalaciones de construcción sostenible [2], y reducir el consumo de agua potable, por medio del planteamiento de un estudio de prefactibilidad para implementar un SRAL para ser usada en las instalaciones sanitarias de los bloques 33, 34 y 35, esto debido a que con respecto a las demás edificaciones del campus se posee más unidades sanitarias por bloques y adicionalmente se cuenta con disponibilidad de los tanques de almacenamiento ya instalados en la parte inferior de estos.

Si bien en la universidad EAFIT ya se cuenta con SRAL en bloques como Idiomas (bloque 1) y Escuela de Ingeniería (bloque 19), estos SRAL fueron planeados previos a la construcción de dichas edificaciones por lo

que la universidad no cuenta con estudios relacionados con la implementación de dichos sistemas en bloques ya construidos.

La implementación de estos sistemas es importante para la Universidad debido al reconocimiento que recibe como una institución que se preocupa por el medio ambiente y que contribuye al desarrollo sostenible de la humanidad, además el crecimiento integral que representa, convirtiéndose así, en una universidad para todas las generaciones con un ecosistema inteligente [2] que se encuentra en permanente renovación y se preocupa por no comprometer los recursos del futuro.

Por otro lado, es frecuente que los proyectos para el aprovechamiento de agua lluvia se rechacen por los costos de inversión inicial que representan y la falta de estudios que demuestren el retorno de la inversión en el corto plazo o unos beneficios notables para disminuir el consumo de agua potable. De ahí la necesidad de este análisis.

El Fondo Internacional De Desarrollo Agrícola (FIDA), argumenta que los dispositivos empleados para los SRAL para el uso sanitario deben de estar ubicados en techos o patios, con el fin de que el agua pueda ser captada de una manera óptima evitando daños estructurales en las edificaciones [3], a pesar de que los usos para los que se desea implementar los SRAL en la Universidad EAFIT no son para fines domésticos, se toma la información dada por el FIDA (ver anexo 8) con respecto a los usos de agua para higiene, donde se expone que en patios impermeabilizados correctamente es posible hacer una buena captación de agua lluvia.

Adicionalmente un estudio realizado en un edificio plurifamiliar, evaluó una solución para reducir la demanda de agua potable y la electricidad requerida para calentarla a partir de un modelo donde se instalaría un SRAL para aguas grises y unidades de recuperación de calor de agua de drenaje, con este se llegó a la conclusión de que se puede reducir hasta un 40% del consumo de agua potable y que el uso de estos sistemas es viable financieramente porque reduce gastos de aguas residuales y saneamiento a pesar de que la inversión inicial puede ser alta [4].

Actualmente los SRAL pueden dividirse en dos tipos, simples y complejos [5] donde en los simples el agua captada es transportada a los puntos más bajos de la edificación para ser almacenada y luego por medio de bombeo ser usada directamente, mientras que los sistemas complejos son diseñados para captar, tratar, almacenar y distribuir el agua para posteriormente ser usada en las necesidades primarias de la población, estos cuentan con sistemas de filtrado y desinfección del agua recolectada puesto que son empleados generalmente para uso doméstico.

En el estudio a desarrollar en la universidad EAFIT se tomará como principal alternativa ubicar los tanques de captación en la parte inferior de los bloques, debido a que estos ya se encontraban anteriormente enterrados, lo cual facilita el desarrollo del proyecto y supone menor costo por compra de los tanques. Por otro lado, un sistema de recolección en el techo implicaría reforzar la estructura de los 3 bloques lo cual se vería reflejado en una inversión más alta para el desarrollo del proyecto, además de esto de acuerdo a la NSR-10 no se recomienda por temas de humedad y sismo-resistencia.

## **2. Materiales y métodos**

Para realizar el estudio de prefactibilidad de la implementación de un SRAL en la Universidad EAFIT, en primera instancia se examinó el estado estructural de los bloques y las condiciones que se tienen para la instalación de los tanques del SRAL, esto con el propósito de no afectar la estructura de los bloques o sistemas de aire acondicionados instalados previamente en estos y no comprometer la seguridad de la comunidad

Eafitense que habita usualmente en las instalaciones. Para ello se realizó un análisis estructural de los bloques en cuestión según el Reglamento Colombiano De Construcción Sismo Resistente (NSR-10) [6], de acuerdo con esto es válido rescatar que la estructura actual de las edificaciones cuenta en su techo con una resistencia aproximada de  $200 \text{ kg/m}^2$  por lo que no son aptas para soportar la ubicación de los tanques en techo. Se analizaron los niveles de precipitación de la ciudad de Medellín en las distintas épocas del año, se evaluó y comparó cómo esto influye en el porcentaje de agua potable ahorrada en los bloques 1 y 19 del campus para con esto determinar cuál de los dos SRAL ya instalados en el campus es más eficiente (en términos de porcentaje de agua potable ahorrado con respecto al consumido).

Posteriormente se realizó una revisión bibliográfica acerca de los SRAL y las mejores alternativas para esto. Se ejecutó un análisis fisicoquímico del agua lluvia donde se midieron los siguientes parámetros: pH, turbidez, sólidos suspendidos y color aparente, esto con el fin de determinar el nivel de contaminación del agua y revisar si esta requeriría un tratamiento químico previo al almacenamiento en los tanques, a partir de esto se evaluó el tipo de SRAL a implementar en los bloques 33, 34 y 35.

Debido a que en el campus ya se encontraba un diseño de SRAL predeterminado en la parte trasera-inferior de las edificaciones se decidió continuar con esta propuesta con el fin de disminuir gastos innecesarios y se realizó una revisión y análisis de los datos de consumo de agua potable en los bloques seleccionados con el fin de evaluar cual sería el potencial ahorro de agua que se obtendría con la implementación de dicho sistema y como esto impactaría económicamente el costo de dicho consumo.

Con el fin de definir la prefactibilidad del proyecto se realizaron los estudios: sectorial, de mercado, técnico, ambiental y financiero según la metodología ONUDI [7], estos se pueden observar en los anexos 3, 4 y 7.

En el sectorial se evaluó los aspectos del macroentorno que intervienen en la ejecución del proyecto entre los cuales se pueden destacar el entorno político, económico, sociocultural, tecnológico, ecológico y legal, los cuales fueron examinados de acuerdo con el contexto que se vive en el campus universitario.

Con respecto al desarrollo del estudio de mercado, se compararon los posibles consumidores finales, la demanda de agua requerida y los proveedores para los insumos requeridos para las adecuaciones necesarias para la instalación del SRAL en los bloques. De acuerdo con los parámetros estudiados en el estudio de mercado se definieron los lineamientos para el desarrollo del estudio técnico donde se describen a profundidad los elementos necesarios para la ejecución del proyecto, su ubicación y su costo estimado. En el estudio ambiental se evaluaron los posibles impactos y afectaciones a la universidad parque teniendo factores como su línea base ambiental, su medio biótico y socioeconómico y el área de influencia que podría tener el proyecto en el campus universitario. Por su parte en el estudio financiero se evaluó los flujos de caja de la operación, del inversionista y del proyecto y luego se analizaron los indicadores económicos.

De acuerdo con el sistema elegido se compararon los costos de instalación de las adecuaciones necesarias para implementar los SRAL con diferentes proveedores analizando diferentes factores económicos como el valor de la inversión, el tiempo estimado del retorno a la inversión realizada, costos de la adaptación de la infraestructura y gastos de operación y mantenimiento, todo esto de acuerdo con indicadores económicos como la tasa interna de retorno (TIR), valor presente neto (VPN) y el plazo de recuperación de la inversión (PRI).

Por último, se realizó una matriz de impacto ambiental para la instalación de los SRAL, se verificó que los estudios fueran factibles y se determinó la viabilidad del proyecto, adicionalmente se evaluó las emisiones evitadas en Kg de  $\text{CO}_2\text{e}$ , con la implementación de estos sistemas y el impacto económico que generaría en la Universidad y de manera general se calculó la huella de carbono de consumo de agua potable con y sin SRAL

según los factores de emisión tomados del Departamento del Medio Ambiente, Alimentación y Asuntos Rurales de Londres (DEFRA) [8] y finalmente se determinó la prefactibilidad del proyecto.

### **3. Resultados y análisis**

A continuación, se exponen los análisis realizados con el fin de determinar la prefactibilidad de la implementación de un SRAL en el campus de la Universidad EAFIT.

#### **Análisis estructural bloques 33, 34 y 35 Universidad EAFIT (NSR-10).**

Al revisar el estado estructural de los bloques 33, 34 y 35 de la universidad EAFIT, mediante los planos proporcionados el área de planta física de la institución, según el Reglamento Colombiano De Construcción Sismo Resistente (NSR-10), estos bloques se distribuyen de la siguiente manera, para el 33 se cuenta con 4 niveles donde se encuentran baños en el primer y cuarto nivel, para los bloques 34 y 35 que son de 5 niveles también se cuenta con baños en el primer y último piso, todos los bloques cuentan con un área en el techo de 280,72m<sup>2</sup>.

En conversación con la coordinadora de infraestructura del campus se pueden destacar que los techos de estos bloques están elaborados en madera con una resistencia estimada de 200 kg/m<sup>2</sup>, por lo que esto representaría un peligro para la comunidad Eafitense debido a que 1 m<sup>3</sup> de agua tiene un peso de una tonelada, por lo tanto, la estructura no soportaría dicho peso y se correría un alto riesgo lo que requeriría de un refuerzo en la estructura de los bloques y así aumento en el presupuesto del proyecto, adicionalmente en la parte inferior-trasera de cada bloque se cuenta con un tanque enterrado con una capacidad de 20 m<sup>3</sup>, que a su vez significa un ahorro en el presupuesto para el desarrollo del proyecto.

#### **Análisis de ubicación de los tanques.**

Debido a los datos y planos de la Universidad EAFIT suministrados por el área de planta física y con conocimiento previo de la existencia de 3 tanques con capacidad de 20.000 L que se encontraban en la parte trasera de los bloques para los cuales este estudio tiene objeto, se toma la decisión de usar estos tanques y la ubicación ya definida, el tanque que estaría destinado para la recolección del bloque 33 se encuentra enterrado detrás del bloque 30, se planteó cambiar su ubicación para que los tanques estuvieran distribuidos como se muestra en la figura 3.b pero al evaluar la opción resulta considerablemente más económico extender la tubería desde la parte trasera del bloque 30 hasta el bloque 33 debido a que el traslado del tanque implica mayores costos y adecuaciones.

## Análisis niveles de precipitación ciudad de Medellín barrio el Aguacatala.

**Tabla 1.** Volumen posible acumulado mensual de acuerdo con la pluviosidad ciudad de Medellín y el área de recolección desde enero de 2020.

MES	AÑO	VOLUMEN ACUMULADO MES (m <sup>3</sup> )
Enero	2020	19,79
Febrero	2020	17,27
Marzo	2020	11,17
Abril	2020	11,45
Mayo	2020	13,47
Junio	2020	20,28
Julio	2020	40,14
Agosto	2020	22,03
Septiembre	2020	33,68
Octubre	2020	24,60
Noviembre	2020	33,54
Diciembre	2020	23,18
Enero	2021	10,75
Febrero	2021	12,01
Marzo	2021	43,95

**Tabla 2.** Pluviosidad mensual promedio en la ciudad de Medellín desde el año 2019.

	2019	2020	2021
Pluviosidad promedio (mm)	51,296	59,795	70,146
Pluviosidad total (mm)	615,551	717,545	-
Pluviosidad a marzo (mm)	76,785	83,145	210,438

Con base en los datos proporcionados por el Sistema de Alerta Temprana del Valle de Aburrá (SIATA) [9], en la tabla 1 se evidencia que en las épocas más lluviosas del año se alcanzaría a recolectar entre 30 y 40 m<sup>3</sup> de agua lluvia (esto teniendo en cuenta 280,72m<sup>2</sup> como área de recolección), lo cual representa aproximadamente 2 veces el volumen de cada tanque; como la cantidad de lluvia es uniforme en el mismo rango de espacio los tres tanques se llenarían simultáneamente. Además, en promedio, mensualmente se recolectarían 22.49 m<sup>3</sup>, es decir, aproximadamente el volumen correspondiente a 1 tanque cada mes.

Como se puede observar en la tabla 2, la precipitación en Medellín tiende a aumentar debido al cambio climático; por esto la cantidad de agua recolectada podría incrementar y a su vez el potencial de ahorro de agua potable, teniendo en cuenta que el agua del tanque va a estar en uso constante y si aumenta la precipitación la cantidad de agua ahorrada aumentará también.

A pesar de que hay meses poco lluviosos como lo son enero y diciembre, en estas épocas del año el flujo de personas no es tan alto como lo es durante el semestre académico, pero aun así con el histórico de consumo que se tiene se aprovecharía el agua recolectada.

## Análisis de datos de consumo de la Universidad EAFIT.

**Tabla 3.** Consumo de agua bloques 33, 34 y 35.

<b>Fecha</b>	<b>Bloque 33</b>	<b>Bloque 34</b>	<b>Bloque 35</b>
1/01/2019	111	122	177
1/02/2019	149	149	244
1/03/2019	146	130	144
1/04/2019	126	163	140
1/05/2019	175	193	112
1/06/2019	81	178	88
1/07/2019	187	220	201
1/08/2019	303	298	450
1/09/2019	290	244	442
1/10/2019	347	321	415
1/11/2019	255	64	236
1/12/2019	62	18	71
1/01/2020	280	92	147
1/02/2020	411	155	243
1/03/2020	223	65	133
1/04/2020	0	0	0
1/05/2020	0	0	0
1/06/2020	188	30	84
1/07/2020	85	15	27
1/08/2020	61	18,69	26
<b>Promedio</b>	<b>174,00</b>	<b>123,78</b>	<b>169,00</b>

Como se puede observar en la tabla 3 y tras realizar un promedio del consumo de agua potable y compararlo con la tabla 1, con un volumen recolectado promedio mensual de 22 m<sup>3</sup> se puede decir que el potencial de ahorro de agua potable es aproximadamente un 13.79% del consumo total de cada bloque, si bien, el porcentaje es muy bajo, como se muestra en el anexo 6 el porcentaje de agua lluvia usada en la Universidad al día de hoy representa solo el 0.5% del consumo total de agua de todo el campus universitario, es decir, que el consumo es significativo con respecto al agua utilizada en cada bloque. Adicionalmente, a partir de datos proporcionados por el departamento de planta física de la Universidad (ver anexo9) el ahorro estimado en dinero con respecto al consumo para los tres bloques representaría aproximadamente el 15% para los servicios de acueducto de los bloques 33, 34 y 35

### Análisis revisión bibliográfica y análisis fisicoquímico del agua lluvia.

A partir de la revisión bibliográfica realizada se logró comparar diferentes tipos de SRAL donde se contempló la idea de sistemas con concreto permeable donde por medio de concreto granulado se realiza la recolección de agua lluvia de forma subterránea, esta fue descartada debido a que el área de recolección sería muy poca y los costos de adecuación serían elevados, además de esto, se vería impactado el paisaje de la Universidad- parque ya que esto acarrearía consecuencias como la tala de árboles. Así mismo, se contempló realizar la recolección del agua lluvia con la ubicación de los tanques en los techos de las edificaciones para hacer provecho de la gravedad para el vaciado de las baterías sanitarias y así evitar costos de bombeo, pero esto se descartó por razones previamente mencionadas en cuanto a la estructura de estos.

Por otro lado, se contempló la posibilidad de la implementación de un SRAL complejo realizando un tratamiento químico al agua, pero esto fue descartado debido a que no se le dará usos que requieran agua potable, además los niveles de contaminación del agua lluvia en el barrio la Aguacatala de la ciudad de Medellín no se encuentran elevados con respecto a los valores estipulados para el agua potable [10], esto se puede corroborar a continuación con los resultados del análisis fisicoquímico realizado al agua lluvia.

**Tabla 4.** Análisis fisicoquímico del agua lluvia.

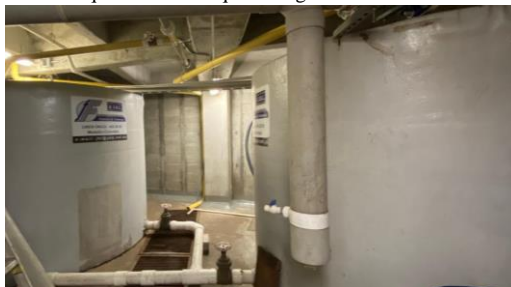
<b>Propiedad</b>	<b>Valor</b>	<b>Valor agua potable</b>	<b>Unidad</b>
pH	6,86	6,95	-
Turbidez	4,06	2	UNT
Solidos suspendidos	0,0018	0	g

### **Comparación sistemas de agua lluvia Universidad EAFIT.**

Actualmente en el campus universitario se encuentran dos SRAL ubicados en los bloques de ingenierías e idiomas. Para el bloque de ingenierías se cuentan con dos tanques de 11.000L cada uno, equipados con suministro del agua lluvia recolectada y agua potable, si bien, el agua que se consume por parte de estos tanques es cuantificada, no es posible saber la cantidad exacta de agua lluvia que se consume debido a temas de mantenimiento y la recolección de los datos que no son confiables como se muestra en el anexo 9. Adicionalmente al revisar los datos de consumo de agua para el bloque de idiomas no se cuenta con un contador en el SRAL mediante el cual se pueda cuantificar el consumo de agua lluvia. Debido a esto, no es posible realizar una comparación efectiva en términos de consumo entre estos SRAL. No obstante, al revisar la estructura, se pueden destacar los siguientes aspectos:

- Tanques fabricados en fibra de vidrio, lo cuales requieren de mayor espacio para ser instalados, ver figura 1.
- Usa de bombas centrifugas, lo que incrementa los costos de mantenimiento debido a que se requeriría un cuarto de bombas adicional, es decir, gastos adicionales, ver figura 2.

**Figura 1.** Tanques SRAL bloque de ingenierías Universidad EAFIT.

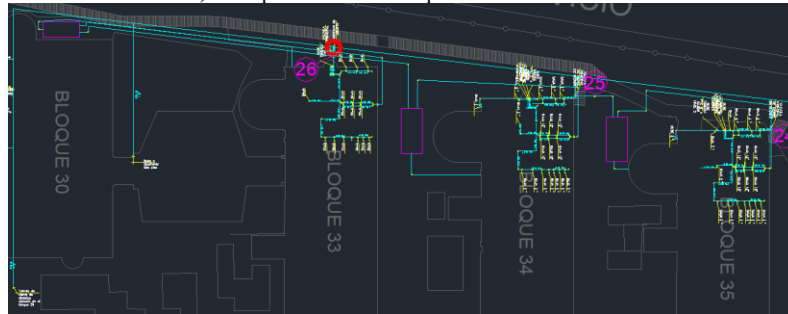


**Figura 2.** Bombas SRAL bloque de ingenierías Universidad EAFIT.

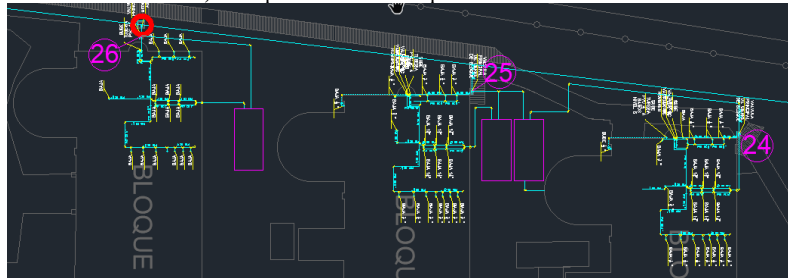


**Figura 3.** Diseño de SRAL para los bloques 33, 34 y 35 de la Universidad EAFIT.

a.) Disposición de los tanques actualmente.



b.) Disposición de los tanques modificada.



Como se puede evidenciar la figura 3 se realizó el diseño en cuanto a la ubicación de los tanques y el abastecimiento de todas las baterías sanitarias de los bloques 33, 34 y 35, los tanques deben conectarse al suministro de agua potable de EPM debido a que estos deben tener respaldo en caso de que no haya agua lluvia recolectada en algún momento y las baterías puedan vaciarse de manera efectiva. Además, el diseño considera todas las adecuaciones necesarias como tuberías que se deben remover y nuevas conexiones; con esto también accesorios como codos, reducciones y tees.

Para el diseño del bloque 33 se tuvieron algunas modificaciones en cuanto al realizado para los bloques 34 y 35 debido a que este no cuenta con el tanque por lo menos a una distancia de 5 m, sino que esta aproximadamente a 35 m de distancia, entonces el arreglo de las tuberías es significativamente diferente.

De la misma manera se realizó el diseño de las bombas para que estas pudieran suministrar el agua a las baterías de manera eficiente, están serán bombas sumergibles tipo lápiz que se ubicaran en el fondo de los tanques para evitar costos para el cuarto de bombas y espacio para este mismo, las bombas ocuparían un volumen aproximado de  $0.052\text{m}^3$  lo que no comprometería significativamente la capacidad de recolección de estos, por seguridad estas bombas deben contar con camisa de enfriamiento y tienen una cabeza de bomba de aproximadamente 15m, en cuanto al bloque 33 solo se debe subir el agua hasta el tercer piso y tendría una cabeza diferente pero la distancia recorrida es mayor entonces se tomó la decisión de utilizar la misma bomba para los 3 bloques y contemplar la posibilidad de un descuento con el proveedor por comprar tres bombas iguales.

## Estudio sectorial

### Factor ecológico

Según los objetivos del Itinerario 2030, la Universidad se plantea conservar y mejorar los ecosistemas naturales e institucionales para fortalecer una cultura responsable en la comunidad que aporte al desarrollo sostenible [11], además la Universidad cuenta con el Centro de Estudios Urbanos Ambientales (URBAM) donde se reflexiona sobre temas como el urbanismo y paisaje, casa y entorno, medio ambiente y ecología urbana y movilidad y transporte [12], también cuenta con un Sistema de Gestión Ambiental que busca inculcar una cultura ambiental con la gestión de los recursos, iniciativas para la protección de la biodiversidad y a través del Núcleo de Formación Institucional con los cursos de desarrollo sostenible, ecología y hombre y medio ambiente [13].

El GreenMetric World University Ranking (GMWUR) es una clasificación creada para medir los esfuerzos de sostenibilidad de los campus universitarios a nivel mundial, la Universidad participa en este ranking desde el 2014, y cada año sube de puesto en este mismo, para el año 2020 ocupó el puesto 98 a nivel mundial y el 7 a nivel nacional con la participación de 912 campus a nivel global [14], dentro de los criterios evaluados en el GMWUR, un indicador importante es el uso del agua dentro del cual se evalúa la recuperación de agua lluvia y el uso eficiente de esta.

Adicionalmente la Universidad participa en el Impact Ranking, realizado por The World University Ranking el cual evalúa el impacto a los objetivos de desarrollo sostenible (ODS), en este ocupa el puesto #1 en Colombia y se encuentra en el grupo (201-300) del ranking mundial donde participaron 1117 Universidades en 94 países en el 2021 [15].

## Estudio de mercado

Actualmente en el mercado se dispone de una amplia oferta en la tecnología necesaria para la implementación de SRAL, lo cual facilita hacer un análisis comparativo y evaluar las diferentes opciones que presenta el mercado para la implementación de estos sistemas. Se compararon 3 proveedores para los accesorios de PVC como se muestra en la tabla 5, donde está el precio por metro de tubería, el proveedor seleccionado para estos insumos es Depósitos Miranda.

**Tabla 5.** Comparación de proveedores para tubería y accesorios en PVC.

	PVC 2 IN	PVC 3 IN	PVC 4 IN	TEE 2 IN	TEE 3 IN
ACUAMETRO	\$ 12,492	\$ 18,665	\$ 25,917	\$ 6,950	\$ 8,700
TECNI FLUIDOS	\$ 15,936	\$ 21,347	\$ 58,667	\$ 13,709	\$ 7,300
DEPOSITOS MIRANDA	\$ 8,383	\$ 11,183	\$ 16,833	\$ 6,500	\$ 6,100

	TEE 4 IN	CODO 2 IN	CODO 3 IN	CODO 4 IN	REDUCCIÓN
ACUAMETRO	\$ 18,000	\$ 3,400	\$ 7,900	\$ 13,601	\$ 5,700
TECNI FLUIDOS	\$ 116,858	\$ 11,031	\$ 8,100	\$ 89,012	\$ 5,500
DEPOSITOS MIRANDA	\$ 12,600	\$ 2,350	\$ 4,900	\$ 8,500	\$ 3,600

Adicionalmente el costo de las bombas y la instalación fue proporcionado por la empresa que actualmente está encargada del mantenimiento hidráulico del campus.

## Estudio técnico

- **Capacidad:** El proyecto cuenta con capacidad de recolección de agua lluvia de 60.000L simultáneamente repartidos en 3 tanques de 20.000L, y teniendo en cuenta los históricos de precipitación en la ciudad se alcanzaría a llenar en promedio cada tanque una vez al mes.

El bloque 33 cuenta con 15 sanitarios y 7 urinales, los bloques 34 y 35 cuentan con 18 sanitarios y 8 urinales cada uno, los sanitarios y urinales tienen una descarga de 4.8 y 1.9 *lpf* respectivamente, además se supone que el 60% del consumo total de agua de los bloques es destinado para el vaciado de baños.

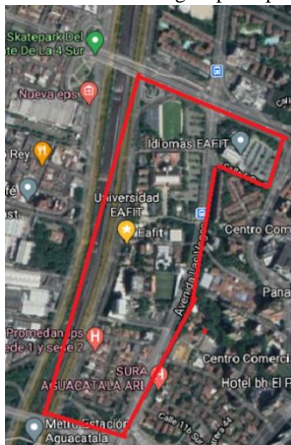
- **Obras físicas:**
  - Instalación de tuberías de PVC para la conexión de sanitarios y recolección de agua lluvia.
  - Mantenimiento de los tanques que ya se encuentran disponibles.
  - Arreglos en las zonas de tránsito y los baños por daños ocasionados por la instalación de tuberías.
  - Instalación de las bombas dentro de los tanques.
- **Equipos y tecnología:** Para el desarrollo del proyecto se requiere.
  - 3 bombas sumergibles tipo lápiz y tablero de bombas
  - 3 tanques horizontales de 20.000 L.
  - Tuberías y accesorios en PVC.
  - 1 malla para el filtro del agua lluvia antes de entrar al tanque.
  - 3 contadores de caudal
- **Costos:** Para el desarrollo del proyecto se requiere de:
  - Aproximadamente 155 m de tubería PVC de 2 in con un costo de \$1'300.000 COP.
  - 14 tees en PVC de 2 in con un costo de \$91.000 COP.
  - 13 codos en PVC de 2 in con un costo de \$31.000 COP.
  - Aproximadamente 41 m de tubería PVC de 3 in con un costo de \$459.000 COP.
  - 4 codos en PVC de 3 in con un costo de \$20.000 COP.
  - Aproximadamente 89 m de tubería PVC de 4 in con un costo de \$1'500.000 COP.
  - 10 codos en PVC de 4 in con un costo de \$85.000 COP.
  - 3 reducciones en PVC de 3 in a 2 in con un costo de \$11.000 COP.
  - 3 tanques de 20.000L, estos no tendrían costo porque ya se encuentran enterrados a los lados de los bloques.
  - 3 contadores con un costo de \$690.000 COP.
  - Para los arreglos generales por los daños generados por la instalación serían aproximadamente \$15'000.000 COP, no se analizan a fondo los materiales porque no están en el alcance del proyecto.
  - El mantenimiento de los tanques tiene un costo de \$900.000 COP más \$60.000 COP por desenterrarlo y volverlo a enterrar, esto es para cada tanque, es decir, aproximadamente un total de \$3'000.000COP.
  - Malla para el filtro del agua lluvia antes de entrar al tanque con un costo de \$150.000 COP
  - 24 m de tubería de 4 in para los bajantes con un costo de \$404.000 COP.
  - 2 codos de 4 in para los bajantes con un costo de \$17.000 COP.
  - 3 bombas con un costo de 15'.000.000COP incluida la instalación
  - 1 tablero variador de velocidad para las bombas con un costo de \$3.903.000

## Estudio ambiental

### Estructura ecológica principal

La proyecto Universidad Parque EAFIT cuenta con 16 años de antigüedad donde se integran espacios de aprendizaje activo con la biodiversidad que aporta el Valle de Aburrá, manteniendo así el equilibrio entre la naturaleza y la zona urbana [16]. La propuesta “Estudio de prefactibilidad para un sistema de recolección de agua lluvia en la Universidad EAFIT” tendrá lugar en los bloques 33, 34 y 35 de la universidad EAFIT la cuales se encuentran albergados dentro de la Universidad, que es tomada como la estructura ecológica principal del proyecto. El proyecto no cuenta con estructuras ecológicas secundarias debido a que el área de impacto de este está acotada dentro del área de la universidad.

**Figura 4.** Universidad EAFIT- Estructura ecológica principal. Fuente: Google Earth Pro.



**Figura 5.** Vista superior de la estructura ecológica principal. Fuente: Google Earth Pro.



La matriz de impacto ambiental se encuentra en el anexo 4.

### Estudio financiero

Desde el punto de vista financiero del proyecto se realizaron los flujos de caja operacional, de inversión y del proyecto evaluados a 18 años, el estudio se realizó de acuerdo a la información del estudio técnico, con este se calcularon los diferentes indicadores economicos como se muestra en la tabla 6, de estos se determina que el

proyecto no es viable financieramente debido a que el VPN es menor que 0, la TIR es negativa y no supera la tasa de descuento que tiene la universidad para este tipo de proyectos que es una TIO del 11% y el PRI que determina en que año se recupera la inversión no cuenta con un valor porque el proyecto no alcanza a recuperar la inversión en un horizonte de 18 años, estos valores se deben a que la inversión inicial es muy alta y los costos de mantenimiento del sistema anualmente son aproximadamente lo mismo que se obtendría de ahorro en cuanto a los servicios de acueducto.

El proyecto cuenta con una inversión inicial de \$41'240.000 COP, esto contemplando gastos de mantenimiento inicial y adecuaciones del SRAL, si bien, este valor es un valor, inicialmente se estimaba la compra de los tanques los cuales tienen un costo de 35'000.000 cada uno, sin embargo, al contar con estos ya dentro de las instalaciones del campus la inversión se redujo en 70% menos de la esperada.

**Tabla 6.** Indicadores económicos del proyecto.

	<b>VPN</b>	<b>TIR</b>	<b>PRI</b>
-\$	38,357,083	-9.75%	-

## **Beneficios ambientales y financieros**

### **Huella de carbono**

El agua es un recurso primordial para la subsistencia humana, si bien esta esta disponible en las fuentes de agua dulce esta requiere ser potabilizada para el consumo humano, lo que requiere gastos energeticos, de distribución y tratamiento, esto provoca emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmosfera. Para el consumo puntual de agua potable de los bloques 33, 34 y 35 se realiza el calculo de los *kgCO<sub>2</sub>e* emitidos anualmente por la Universidad y los que se evitarían con la implementación de los SRAL en estos bloques.

Se calcula a partir de los factores de de emsión de gases de efecto invernadero (GEI), tomados del DEFRA, para el caso del agua potable se emplea el factor de 0.344 *kgCO<sub>2</sub>e/m<sup>3</sup>* [17], como se evidencia en la ecuación (1), actualmente con el consumo de agua potable de estos bloques anualmente se emiten 1926.89 *kgCO<sub>2</sub>e* y con los SRAL se lograría reducir esta cifra un 14.14%, es decir, se evitarían 272.45 *kgCO<sub>2</sub>e*, lo que representaría para la Universidad EAFIT un aporte para el posicionamiento en el GMWUR, teniendo en cuenta que esto equivale a un 1.69% de la huella de carbono total de la universidad sin tener en cuenta la movilidad y a su vez se ve reflejado a un porcentaje de ahorro en cuanto al pago a los proyectos de compensación por las emisiones de carbono en caso de que la universidad se proponga neutralizar su huella.

$$HC = Consumo\ de\ agua\ lluvia\ m^3 * 0.344 \frac{kgCO_2e}{m^3} \quad (1)$$

Más allá de que el proyecto no sea viable financieramente el trae otros beneficios a la Universidad que a largo plazo se pueden reflejar también monetariamente, el proyecto trae beneficios sociales a la institución debido a que contribuye con los objetivos planteados en el itinerario 2030 y consigo reconocimiento y posicionamiento en los rankings verdes en los que participa la Universidad, además las nuevas generaciones demandan de las empresas que estas tengan compromiso ambiental.

## **4. Conclusiones**

Teniendo en cuenta los estudios de apoyo del proyecto, la tendencia climática de la ciudad, y demás factores que intervienen, se pudo determinar que el proyecto no es viable económicamente, la inversión no se recupera en un pronto horizonte de tiempo y la tasa interna de retorno no es comparable con la tase de oportunidad que considera la Universidad. Sin embargo, es de resaltar que en el ámbito social y ambiental el proyecto trae

diferentes beneficios: poder diversificar la distribución de consumo hídrico y por ende disminuir la presión a este recurso, contribuir al cumplimiento de su misión-visión como institución comprometida con la sostenibilidad ambiental, mejorar su posicionamiento en ránquines a nivel global, y como consecuencia fortalecer su reputación y relación con los grupos de interés.

Por otro lado, el estudio cumplió con los objetivos planteados, se analizó los datos de consumo de los bloques y se estimó la posible reducción en el consumo de agua potable, se lograron comparar las alternativas de SRAL teniendo en cuenta los recursos disponibles en el campus, los cuales representaron una reducción significativa en los costos estimados del proyecto, además de no comprometer la seguridad de la comunidad y el paisaje de la Universidad; obteniendo como resultado una reducción de aproximadamente el 13.79% del consumo de agua potable de los bloques representando un ahorro de aproximadamente 67 m<sup>3</sup> al mes, con un ahorro promedio mensual en el pago de acueducto de de \$210.000 COP, ahorro que como se mencionó no representa un ingreso, debido a los mantenimientos anuales del sistema.

Desde otra perspectiva, un factor importante a considerar es que la Universidad podría perder la inversión realizada con anterioridad en los tanques, la cual se estima en aproximadamente en \$90'000.000 COP, es decir, el proyecto no generaría ganancias, pero evitaría la pérdida de la inversión ejecutada previamente. Esto sumado al hecho de que los estudios realizados 1,2,3 y 4 permiten observar cómo se favorecería la Universidad con la implementación de estos sistemas.

Finalmente, a pesar de que en términos de huella de carbono corporativa es mejor priorizar los proyectos energéticos antes que los hídricos, se recomienda no descartar la implementación de SRAL, en especial en la construcción de nuevos bloques.

## 5. Tabla de Anexos o Apéndices

Si se considera que se debe incluir información adicional para la comprensión del proyecto de grado se debe entregar esta documentación en formato digital, agregándola a una carpeta de Google Drive y compartiendo el enlace corto en la Tabla 1.

**Tabla 7.** Documentos adicionales incluidos con el proyecto de grado.

<b>Nombre</b>	<b>Desarrollo (propio/terceros)</b>	<b>Tipo de Archivo</b>	<b>Enlace google drive (https://goo.gl/)</b>
Anexo 1	Propio	Word	<a href="https://bit.ly/3fonYSa">https://bit.ly/3fonYSa</a>
Anexo 2	Propio	Word	<a href="https://bit.ly/3bwoZ9E">https://bit.ly/3bwoZ9E</a>
Anexo 3	Propio	Word	<a href="https://bit.ly/3yfBgJy">https://bit.ly/3yfBgJy</a>
Anexo 4	Propio	Excel	<a href="https://bit.ly/3ogryly">https://bit.ly/3ogryly</a>
Anexo 5	Propio	Word	<a href="https://bit.ly/2SJSvSQ">https://bit.ly/2SJSvSQ</a>
Anexo 6	Terceros	Word	<a href="https://bit.ly/3oh7LCy">https://bit.ly/3oh7LCy</a>
Anexo 7	Propio	Excel	<a href="https://bit.ly/3tJLi20">https://bit.ly/3tJLi20</a>
Anexo 8	Terceros	PDF	<a href="https://bit.ly/3fkiCYi">https://bit.ly/3fkiCYi</a>
Anexo 9	Terceros	Excel	<a href="https://bit.ly/3btBbYG">https://bit.ly/3btBbYG</a>

## Referencias

- [1] J. S. M. Durán, «Estado del arte de los sistemas de captación y aprovechamiento de aguas lluvias como alternativa de ahorro de agua potable en viviendas,» Bogotá, 2016.
- [2] Universidad EAFIT, «Itinerario EAFIT 2030: inicia la travesía,» Medellín, 2018.

- [3] Fondo internacional de desarrollo agrícola, «Sugerencias para la selección del sistema de captación preferencial, según la finalidad de utilización del agua, de acuerdo a un orden de importancia,» de *Captación y almacenamiento de agua lluvia*, Santiago de Chile, Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe, 2013, p. 92.
- [4] S. Agnieszka y K. Sabina, «Analysis of profitability of rainwater harvesting, gray water recycling and drain water heat recovery systems,» *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 105, pp. 84-94, 2015.
- [5] M. C. Reyes y J. J. Rubio, «Descripción de los sistemas de recolección y aprovechamiento de aguas lluvias,» Universidad Católica de Colombia, Bogotá, 2014.
- [6] Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, «Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente. NSR-10,» Bogotá, 2010.
- [7] M. A. Franco y L. M. Montoya, «Aplicación de la metodología ONUDI para proyectos de crecimiento orgánico en grupo EMI,» 2012.
- [8] Gobierno del Reino Unido, «Gok.uk,» Septiembre 2020. [En línea]. Available: <https://www.gov.uk/government/organisations/department-for-environment-food-rural-affairs>. [Último acceso: 24 Septiembre 2020].
- [9] SIATA, «Sistema de Alerta Temprana de Medellín y el Valle de Aburrá,» Abril 2021. [En línea]. Available: [https://siata.gov.co/descarga\\_siata/index.php/index2/](https://siata.gov.co/descarga_siata/index.php/index2/). [Último acceso: Abril 2021].
- [10] «Preguntas frecuentes sobre la calidad del agua en los sistemas operados por aguas regionales EMP S.A E.S.P,» Medellín.
- [11] Universidad EAFIT, «Itinerarios y objetivos estratégicos a 2030,» 30 Noviembre 2020. [En línea]. Available: <https://www.eafit.edu.co/institucional/info-general/Paginas/plan-estrategico-desarrollo.aspx>. [Último acceso: 2021].
- [12] Universidad EAFIT, «Urbam - EAFIT,» [En línea]. Available: <https://www.eafit.edu.co/centros/urbam/Paginas/urbam.aspx>. [Último acceso: 2021].
- [13] Universidad EAFIT, «Gestión ambiental,» [En línea]. Available: <https://www.eafit.edu.co/institucional/sostenibilidad-ambiental/gestion-ambiental/Paginas/gestion-ambiental.aspx>. [Último acceso: 2021].
- [14] Universidad EAFIT, «Greenmetric,» [En línea]. Available: <https://www.eafit.edu.co/institucional/sostenibilidad-ambiental/indicadores/Paginas/greenmetric.aspx>. [Último acceso: 2021].
- [15] Times Higher Education, «Times Higher Education,» 2021. [En línea]. Available: [https://www.timeshighereducation.com/impactrankings#!/page/4/length/25/sort\\_by/rank/sort\\_order/asc/cols/stats](https://www.timeshighereducation.com/impactrankings#!/page/4/length/25/sort_by/rank/sort_order/asc/cols/stats). [Último acceso: 2021].
- [16] Universidad EAFIT, «Universidad parque,» [En línea]. Available: <https://www.eafit.edu.co/universidad-parque>.
- [17] UK GOVERNMENT, «GOV.UK,» 17 Julio 2020. [En línea]. Available: <https://www.gov.uk/government/publications/greenhouse-gas-reporting-conversion-factors-2020>. [Último acceso: 2021].