



**PROPUESTA DE MEJORA Y SELECCIÓN DE UNA TECNOLOGÍA DE
TRATAMIENTO DE AGUA LLUVIA MEDIANTE UNA HERRAMIENTA
MULTICRITERIO PARA EL SISTEMA DE CAPTACIÓN EN EL CAMPUS LAS
BALSAS DE LA UNIVERSIDAD DEL VALLE, SEDE ZARZAL**

MAYRA ALEJANDRA ARCE LIBREROS

CRISTIAN ALEXIS ARIAS CASTAÑEDA

**UNIVERSIDAD DEL VALLE
INGENIERÍA INDUSTRIAL
ZARZAL VALLE
2021**

**PROPUESTA DE MEJORA Y SELECCIÓN DE UNA TECNOLOGÍA DE
TRATAMIENTO DE AGUA LLUVIA MEDIANTE UNA HERRAMIENTA
MULTICRITERIO PARA EL SISTEMA DE CAPTACIÓN EN EL CAMPUS LAS
BALSAS DE LA UNIVERSIDAD DEL VALLE, SEDE ZARZAL**

**MAYRA ALEJANDRA ARCE LIBREROS
CRISTIAN ALEXIS ARIAS CASTAÑEDA**

**Trabajo final presentado como requisito parcial para optar al título de:
Ingeniera Industrial**

Director:

MSc. JULIAN GONZALEZ VELASCO

**UNIVERSIDAD DEL VALLE
INGENIERÍA INDUSTRIAL
ZARZAL VALLE
2021**

DEDICATORIA

Este proyecto es el resultado de 5 años de dedicación, perseverancia y disciplina. Son muchas las personas que me han brindado apoyo y compañía a lo largo de este proceso.

Primero que todo dedico este objetivo cumplido a Dios por brindarme la oportunidad de culminar esta etapa, porque pese a las dificultades, me dio la perseverancia para no rendirme. A mis padres, Edduar Arce Amariles, mi padre, y a su esposa, por ser ejemplo a seguir y orillarme a ser mejor cada día. A Mónica Libreros Molano, mi madre, por darme fortaleza en mis momentos más difíciles y sobre todo por creer en mí. A mis hermanos por su apoyo y compañía. A mis abuelos, por sus consejos que me impulsan a superarme. Y a León David Daza, más que mi pareja, por ser fuente de apoyo en mis malos momentos, por extenderme su mano cuando lo necesité, por el amor, la paciencia y la compañía que me brindó en este trayecto.

Mayra Alejandra Arce Libreros.

El presente trabajo investigativo lo dedico principalmente a Dios, por ser el inspirador y darnos fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados en nuestra formación como profesionales.

Todo este esfuerzo está dedicado a mi Madre querida porque sé que ella me ayudó en las buenas y en las malas y lo sigue haciendo, además de haberme dado la vida, siempre confió en mí y nunca me abandonó. Igualmente, a mi padre por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ustedes he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy. Ha sido un orgullo y privilegio de ser su hijo, son los mejores padres.

A mis hermanas por estar siempre presentes, acompañándome y por el apoyo moral, que me brindaron a lo largo de esta etapa de mi vida.

Cristian Alexis Arias Castañeda.

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer al MSc. Julián González Velasco, profesor y director de este trabajo, por su tiempo y dedicación, quien creyó desde un inicio en nuestro proyecto y nos alentó para seguir construyéndolo.

A la Universidad del Valle, donde hemos recibido apoyo para crecer profesionalmente. Agradecemos al PhD (c). Carlos Alberto Rojas, por ser un excelente maestro y por su gran apoyo en nuestra investigación.

Al ingeniero Enzo Paolo Sánchez y a la bacterióloga Sandra Milena Montoya del Ingenio azucarero Riopaila Castilla, por su apoyo y colaboración.

Al señor Óscar Antonio Ossa, funcionario de la universidad; y al grupo de vigilantes del Campus, por su gran colaboración y disposición. A todas las personas que nos han apoyado y han hecho que el trabajo se realice con éxito en especial a aquellos que nos abrieron las puertas y compartieron sus conocimientos.

A amigos y compañeros de clase, gracias por hacer de este proceso, una experiencia única e inolvidable. En este trayecto conocimos personas maravillosas, entre ellas a la compañera Yessika Orejuela, quien marcó la diferencia desde un principio y nos unió como grupo, donde quiera que esté, infinitas gracias le damos por la alegría y sonrisas que nos regaló en vida.

Infinitas gracias a aquellas personas que se mencionaron (y a las que no), porque nos brindaron su ayuda e información de manera incondicional para que la culminación de este proyecto se hiciera posible.

A todos ellos,

Gracias.

RESUMEN.

En aras de aportar a la conservación de cuencas y agua potable del municipio de Zarzal Valle, este proyecto pretende contribuir a la mitigación de la huella hídrica provocada por parte de estudiantes y administrativos del campus Las Balsas de la universidad del Valle, sede Zarzal.

En este trabajo se presenta una propuesta de mejora para el sistema de captación de agua lluvia actual del Campus Las Balsas; junto con la selección de una tecnología de tratamiento, la cual se realizó mediante la metodología multicriterio AHP-TOPSIS. De esta forma se utilizaría el agua lluvia tratada como alternativa de ahorro de agua potable y se obtendría un aprovechamiento eficiente del agua lluvia.

Finalmente se realizó un análisis económico de la propuesta en general con objeto de determinar los costos y beneficios generados a lo largo del tiempo, tasa de retorno y tiempo de reposición de capital. Y de esta forma, determinar la factibilidad del proyecto.

ABSTRACT.

In order to contribute to the conservation of basins and drinking water in the municipality of Zarzal Valle, this project aims to contribute to the mitigation of the water footprint caused by students and administrators of the Las Balsas campus of the Universidad del Valle, Zarzal headquarters.

In this paper is presented an improvement proposal for the current rainwater collection system of the Las Balsas Campus is presented; together with the selection of a treatment technology, which was carried out using the AHP-TOPSIS multi-criteria methodology. In this way, the treated rainwater would be used as an alternative to save drinking water and an efficient use of rainwater would be obtained.

Finally, an economic analysis of the proposal in general was carried out in order to determine the costs and benefits generated over time, rate of return and capital replacement time. And in this way, determine the feasibility of the project.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
1 DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA DE RECOLECCIÓN DE AGUA LLUVIA ACTUAL Y PROPUESTA DE MEJORA.	8
1.1 INFORMACIÓN PLUVIOMÉTRICA	8
1.2 DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA ACTUAL DE RECOLECCIÓN DE AGUA LLUVIA	8
1.3 CALIDAD DEL AGUA LLUVIA A CAPTAR.	11
1.4 MODELO DE CÁLCULOS.	12
1.4.1 área de captación.	13
1.4.2 oferta de agua en el mes “i” (ai)	13
1.4.3 Demanda del agua	14
1.4.4 Interceptor de primeras aguas.....	14
1.4.5 Potencial ahorro de agua potable	15
1.4.6 Volumen del tanque de almacenamiento	15
1.4.7 Volumen de almacenamiento	16
1.5 PROPUESTA DE MEJORA	17
2 SELECCIONAR LA ALTERNATIVA DE TRATAMIENTO QUE MEJOR SE ADAPTE AL SISTEMA MEDIANTE UNA HERRAMIENTA DE DECISIÓN MULTICRITERIO.	19
2.1 SELECCIÓN DEL MÉTODO MULTICRITERIO.	21
2.2 ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO.....	21
2.3 CRITERIOS.....	23
2.4 IMPLEMENTACIÓN DEL AHP-TOPSIS.	25
2.5 METODO AHP	25
2.5.1 Determinación del número de expertos.....	25
2.5.2 Matriz de preferencias.	27
2.5.3 Matriz normalizada	27
2.5.4 Vector prioridad.....	28
2.5.5 Hallar Vector 1 y Vector 2	28
2.5.6 Índice de consistencia IC.	29
2.5.7 Índice aleatorio.....	29
2.5.8 Coeficiente de consistencia.	30
2.6 METODO TOPSIS.	30
2.6.1 Construcción de la matriz de decisiones.	30
2.6.2 Cálculo de calificaciones agregadas para alternativas y criterios.	31

2.6.3	Normalización de la matriz de decisiones.	31
2.6.4	Determinación de la matriz de decisión normalizada ponderada.	32
2.6.5	Determinación de la solución ideal (positiva y negativa).	32
2.6.6	Cálculo del valor de separación.	33
2.6.7	Determinación de los coeficientes de proximidad y clasificación de las alternativas.	34
3	EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA MEJORA PROPUESTA Y TRATAMIENTO DE POTABILIZACIÓN ELEGIDO.	35
	Beneficios.	35
	Egresos.	36
	Impuestos.	37
	Pólizas de seguro.	37
	Depreciación.	38
3.1	TASA DE DESCUENTO EN PROYECTOS DE IMPACTO AMBIENTAL.	38
3.2	VALOR PRESENTE NETO (VPN).	39
3.3	TASA INTERNA DE RETORNO (TIR).	39
3.4	RELACIÓN BENEFICIO COSTO (B/C).	39
3.5	ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD	40
4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	42
5	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.	44

TABLA DE TABLAS

Tabla 1	Normatividad para el uso del agua lluvia y potable.	4
Tabla 2	Análisis de agua lluvia.	11
Tabla 3	Tamaño de tanque propuesto	16
Tabla 4	Clasificación de los métodos MADM.	19
Tabla 5	Tecnologías de tratamiento de potabilización.	21
Tabla 6	Definición de criterios.	23
Tabla 7	Valores de la constante k.	25
Tabla 8	Lista de expertos.	26
Tabla 9	Escala de Saaty	27
Tabla 10	Matriz de preferencia entre criterios.	27
Tabla 11	Matriz normalizada.	28
Tabla 12	Vector prioridad.	28
Tabla 13	Vectores 1 y 2.	29
Tabla 14	Matriz aleatoria	29
Tabla 15	Matriz de decisión.	31
Tabla 16	Matriz normalizada.	32
Tabla 17	Matriz normalizada ponderada.	32
Tabla 18	Solución ideal positiva y negativa	33

Tabla 19 Valor de separación	33
Tabla 20 Clasificación de alternativas.....	34
Tabla 21 Costo total de aprovechamiento	35
Tabla 22 Costos de mantenimiento y operación	36
Tabla 23 Salario mínimo en Colombia	36
Tabla 24 Costos de energía requerida.....	37
Tabla 25 Costos de acueducto y alcantarillado	37
Tabla 26 Tasas de variación.....	40
Tabla 27 Análisis de sensibilidad a 10 años	41

TABLA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Captación de agua lluvia	6
Ilustración 2 Sistema de recolección de agua.....	9
Ilustración 3 Canal perimetral	9
Ilustración 4 Tanque de almacenamiento de agua.	10
Ilustración 5 Sistema de almacenamiento y bombeo de agua.	10
Ilustración 6 Coliformes y bacterias meso-aerobias de las muestras de agua lluvia y agua potable del campus.	12
Ilustración 7 Cubierta de aulas.....	17
Ilustración 8 Propuesta de mejora.	18
Ilustración 9 Fases en la toma de decisiones.	19
Ilustración 10 Modelo jerárquico de objetivos, criterios y alternativas para la investigación planteada	23

TABLA DE GRÁFICAS

Gráficas 1 Precipitación promedio (mensual multianual 1971 - 2017)	8
--	---

TABLA DE ANEXOS

ANEXOS 1 Datos para calcular el área del techo de graderías.....	53
ANEXOS 2 Datos para calcular el área del techo de aulas.	53
ANEXOS 3 Datos para calcular el área del techo de Cafetería.	53
ANEXOS 4 Coeficiente de escorrentía.	54
ANEXOS 5 Oferta de agua lluvia.	54
ANEXOS 6 Cantidad de personas demandantes	54
ANEXOS 7 Calculo de la demanda	54
ANEXOS 8 Metodología para la selección de herramienta multicriterio	55
ANEXOS 9 Metodología para la selección de criterios.	56
ANEXOS 10 Alternativas de tratamiento.	56
ANEXOS 11 Formato de encuestas a expertos.....	57
ANEXOS 12 Calificación promediada de expertos.	57
ANEXOS 13 Costos de inversión.....	58
ANEXOS 14 Flujo de fondos, vista previa a 10 años.....	59

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo conceptualiza uno de los más grandes problemas que enfrenta el mundo actual, la disminución del agua potable. Según el Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de Naciones Unidas (ONU-DAES), una de las problemáticas actuales de la humanidad es la escasez de agua potable, ya que cerca de 1.200 millones de personas viven en áreas de escasez física de agua, mientras que 500 millones se aproximan a esta situación. El planeta cuenta con aproximadamente 97% de agua salada y sólo el 3 % es agua dulce y no es de desconocerse que podría escasear debido a las altas presiones en la demanda (agrícola, industrial, consumo humano) y al manejo deficiente de éstos (contaminantes, vertimientos no controlados, etc.). (May, 2004; Pacheco Montes, 2008; Suárez, García, & Mosquera, 2006).

Según la investigación realizada, en Colombia, el agua no llega en igual magnitud a todos sus habitantes y la mayoría de las fuentes hídricas están siendo contaminadas. (Hernández, et al., 2006; Sánchez & Caicedo, 2004). Los datos revelados en el censo de 2018, realizado por el DANE, determina que el 13,6 % de la población colombiana actualmente no tiene acceso a acueducto. José Luis Acero, viceministro de Agua Potable y Saneamiento Básico, afirma que los departamentos con menor acceso son La Guajira, Guanía, Cauca, Amazonas, Magdalena y Chocó.

En el Valle del Cauca se encuentran dos sistemas hidrográficos, El río Cauca y el del Pacífico, los cuales están ligados a las precipitaciones provenientes del océano Pacífico, sin embargo; con el cambio climático, los patrones de precipitación cada vez son más impredecibles (CVC, 2017).

Zarzal Valle es un municipio ubicado en el norte del departamento del Valle del Cauca con una población de 47,533 habitantes (DANE 2019). Los ríos Platanares y Calamar abastecen el embalse de Guabas (municipio de Bolívar), lugar desde donde se distribuye el agua que abastece a la comunidad urbana del municipio de Zarzal (CVC, 2018).

Asegura la Contraloría Departamental del Valle del Cauca que el municipio de Zarzal invierte un aproximado de 1.975 millones de pesos en agua potable, saneamiento básico y medio ambiente. Arango Bernal, J. I (2017).

Aproximadamente el 3% de la población zarzaleña hace parte de la Universidad del Valle sede Zarzal, siendo un estimado de 951 estudiantes, además de 456 estudiantes que provienen de municipios aledaños, para alcanzar un total de 1407 estudiantes en la universidad. Cabe resaltar que se cuentan con 47 personas entre docentes y administrativos, 3 personas de aseo, 2 vigilantes y 3 personas en la cafetería del campus Las Balsas de la universidad. Echeverry J. (2020). Esto quiere decir que hay un aproximado de 1462 personas haciendo uso diario del servicio de agua potable. (anexo 6).

En este trabajo se determinó una demanda mensual en el Campus Las Balsas, de aproximadamente de 238,45 m³, teniendo en cuenta la dotación promedio por persona, establecida por la NTC 1500 (2004), incurriendo en costos de servicio, por más de \$714.000 mensuales, en un acumulado anual aproximado de \$5.730.000 teniendo en cuenta el costo por m³ igual a \$2998 establecido por Acuavalle (2020) para el sector público. El cual tiene gran probabilidad de crecimiento debido a las nuevas carreras y estudiantes que ingresen a la sede en años futuros.

Uno de los Principios Rectores de la política ambiental de la universidad del Valle es el Consumo Sostenible, el cual consiste en incorporar conceptos y tecnologías que promuevan prácticas sostenibles, buscando disminuir la huella hídrica y ecológica de la institución”. Consejo Superior de la Universidad del Valle (2014).

En propósito de cumplir con esta política ambiental, La Universidad del Valle, Campus “Las Balsas”, instaló un tanque para el almacenamiento de aguas lluvias destinado a ser utilizado como un sistema de riego para las plantas del Campus. El tanque de almacenamiento de agua pluvial tiene una capacidad de 35 m³ y se encuentra ubicado en el sótano del cuarto de máquinas de la piscina, este es alimentado por el agua lluvia a través de la cubierta de graderías, dos (2) canales perimetrales que están ubicados a los lados y otro, ubicado en la parte trasera del edificio de aulas.

Hoy en día la recolección de aguas lluvias es una buena alternativa para el uso doméstico, en lavados o jardinería, dado que optimiza de manera eficiente, el consumo de agua potable y del dinero. (Chocat, 2006).

Teniendo en cuenta los datos anteriores, se planteó la siguiente pregunta:

¿Cuál es el método más eficiente de potabilización de agua para una propuesta de mejora del sistema de recolección de aguas lluvias de La Universidad Del Valle, Sede Zarzal – Campus Las Balsas?

Con el fin de dar respuesta a la anterior incógnita, se planteó como objetivo general, el desarrollo de una propuesta de mejora técnica, junto con la evaluación económica y selección mediante una herramienta de decisión multicriterio, de un tratamiento de potabilización en el sistema de recolección de agua lluvia del campus Las Balsas en la Universidad del Valle - Sede Zarzal. Seguido de los siguientes objetivos específicos:

Realizar un diagnóstico del sistema de recolección de agua lluvia actual y generar una propuesta de mejora.

Seleccionar mediante una herramienta de decisión multicriterio, la alternativa de tratamiento de potabilización que mejor se adapte al sistema.

Desarrollar la evaluación económica de la mejora propuesta con la tecnología de tratamiento elegida.

La justificación o razón por la cual se considera importante el presente documento es la gran preocupación actual de disminuir la demanda de agua potable, además, es responsabilidad de la Universidad del Valle y de nosotros como estudiantes y ciudadanos, velar por conservar este vital recurso, buscando otras fuentes de agua que generen menor desperdicio y costo.

Desde el punto de vista de la ingeniería industrial, es importante aprovechar cada recurso natural de manera óptima, buscando la forma de minimizar los desperdicios de éste, es allí, donde surge la idea de utilizar eficientemente el agua lluvia, que, al caer al suelo, se considera un desecho. Además, algunas de las ventajas de utilizar el agua lluvia son:

El agua lluvia es gratis, los únicos costos son los de recolección, almacenamiento y distribución.

La calidad fisicoquímica del agua lluvia es alta

Fácil instalación.

El Uso Final del Agua recolectada está situada cerca de la fuente, eliminando la necesidad de los sistemas de distribución complejos y costosos.

El agua lluvia no entra en contacto con el suelo, ni las rocas donde se disuelven las sales y los minerales. Por lo tanto, es suave y puede reducir significativamente la cantidad de jabones y detergentes para la limpieza.

El agua lluvia reduce en cierta medida las inundaciones y la erosión.

El agua lluvia es ideal para la irrigación de los jardines y cultivos.

Al recolectar el agua lluvia, se reduce el caudal del alcantarillado pluvial, evitando así el ingreso de altos volúmenes a los sistemas de tratamiento de aguas residuales.

La recolección y utilización del agua lluvia reduce los costos pagados a las empresas prestadoras del servicio debido a la disminución de los consumos de agua potable. Reyes Hincapié, M. C., & Rubio Cano, J. J. (2014).

Dado lo anterior, se encuentra fundamental proponer un proyecto en el cual se utilice eficientemente el agua lluvia a fin de contribuir a la conservación del agua potable del planeta, además de reducir los costos del servicio de acueducto en la Universidad.

Según la Resolución No. 009 Del Consejo Superior De La Universidad Del Valle, en uso de sus atribuciones legales y en especial las que le confieren el literal A del Artículo 18º del Estatuto General, considera que la Universidad del Valle dentro del Proyecto Institucional, literal 2.2 del Acuerdo 001 de 2002 del Consejo Superior y otros documentos, se propone fomentar el estudio y el enriquecimiento del patrimonio cultural de la nación y la defensa, valorización y conservación del medio ambiente y el desarrollo de su biodiversidad. Consejo Superior de la Universidad del Valle (2014).

La normatividad para el uso del agua lluvia y el uso de agua potable en Colombia se encuentra en la tabla 1.

Tabla 1 Normatividad para el uso del agua lluvia y potable.

AÑO	DOCUMENTO	RESTRICITOS
1902	Decreto 616 de 1902 Nivel Nacional	Ninguna entidad o corporación tiene facultad legal para privar del uso de las aguas a los predios o heredades por donde ellas corran sino en el caso y con las formalidades que señala el inciso 3 del artículo 893 del Código Civil, o cuando por sentencia pasada en autoridad de cosa juzgada se les haya reconocido el derecho de hacerlo
1979	Ley 9 de 1979 Nivel Nacional	Dicta Medidas Sanitarias, regula el control sanitario de los usos del agua tales como su suministro, objeto, señala algunas disposiciones generales, reglamenta lo respectivo a aguas superficiales, aguas subterráneas, aguas lluvias, su conducción, estaciones de bombeo y potabilización del agua.
1993	LEY 99	Se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones.
1997	Ley 373 de 1997 Nivel Nacional	Se establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua
2007	RESOLUCIÓN 2115	Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano
		Establece el procedimiento para el recaudo de los recursos provenientes de las medidas adoptadas por

2010	Resolución 1508 de 2010 Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial	la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico para promover el uso eficiente y ahorro del agua potable y desestimular su uso excesivo y su respectivo giro al Fondo Nacional Ambiental.
2015	Decreto 475 de 2015 Nivel Nacional	Establece el Mecanismo Departamental para la evaluación y viabilidad de proyectos del sector de agua potable y saneamiento básico a financiar con recursos que no provienen de la Nación, y se determinan los requisitos y procedimientos para la presentación, viabilidad y aprobación de proyectos.
2018	Decreto 1090 de 2018 Nivel Nacional	Reglamenta la Ley 373 de 1997 en lo relacionado con el Programa para el Uso Eficiente y Ahorro de Agua y aplica a las Autoridades Ambientales, a los usuarios que soliciten una concesión de aguas y a las entidades territoriales responsables de implementar proyectos o lineamientos dirigidos al uso eficiente y ahorro del agua.
2018	Resolución 0844 de 08 de noviembre de 2018	Por la cual se establecen los requisitos técnicos para los proyectos de agua y saneamiento básico de zonas rurales que se adelanten bajo los esquemas diferenciales definidos en el capítulo 1, del Título 7, parte 3, del libro 2 del Decreto 1077 de 2015"

Fuente: Los Autores.

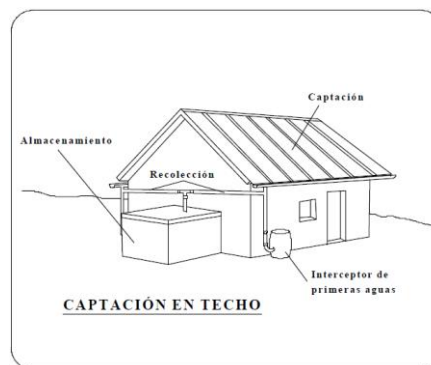
Luego de realizar un análisis en la literatura existente, Romero, M. (2008)., menciona que el suministro de agua potable es un problema que ha ocupado al hombre desde la antigüedad. Gómez, J. R. S. (2012). Menciona que, el objetivo

de la ingeniería ha sido mejorar las condiciones de vida, ayudando a disminuir la contaminación de fuentes hídricas y el resto del ambiente.

Los sistemas de captación de agua de lluvia (SCALL) se han propuesto como una alternativa para mejorar el abastecimiento del agua. Arroyo-Zambrano, T. I., Cerutti, O. M., & Gutiérrez, A. F. (2016). La captación de agua lluvia ha sido una actividad realizada hace muchos años atrás en zonas retiradas de fuentes superficiales y no poseen agua potable. (Vishwanath, 2001; De Graaf, Van der Brugge y Lankester, 2007; Fletcher, Mitchell y Delectic, 2007). La recolección de agua lluvia ha sido de gran importancia para el sector agrícola y el uso doméstico. En el desierto de Negev se han descubierto sistemas de captación de agua que se remontan a más de 4000 años, los cuales consistían en el desmonte de lomeríos para aumentar la escorrentía superficial que se dirigía a los cultivos en zonas bajas. En China, Gansu, existían pozos recolectores de agua lluvia desde hace 2000 años, en Irán, Roma, México, entre otros, se han venido implementando sistemas de recolección con el fin de suplir necesidades básicas y regar la agricultura. Suárez, J., García, M., & Mosquera, R. (2006).

El objetivo general de la recolección de agua lluvia, es direccionar el agua pluvial hacia algún tanque o recipiente en el cual se pueda almacenar para un futuro uso. Velasco, H., et al (2000). Usualmente se opta por la captación de fuentes pluviales, cuando no se encuentran disponibles fuentes superficiales o subterráneas. Los elementos o componentes mínimos de un sistema de recolección de agua pluvial convencional son:

Ilustración 1 Captación de agua lluvia



Fuente: CEPIS

Estructura de captación: Son estructuras o canales limpios, libres de fugas, olores y sustancias que contaminen el agua, ubicados en puntos bajos para que el agua llegue por gravedad.

Transporte: Son conductos que se encargan de arrastrar el agua hacia el punto de almacenamiento, generalmente son canales impermeables en PVC para evitar filtración.

Almacenamiento: El tamaño varía según el sistema y capacidad de recolección, sin embargo, todos deben limpiarse periódicamente, debe ser impermeable y contar con una cubierta que proteja el agua de contaminantes.

En la mayoría de los casos, incluyen un método de filtración para evitar el paso de sólidos y partículas contaminantes. Suárez, J., García, M., & Mosquera, R. (2006). A lo largo de los años han surgido diferentes métodos de filtración para la limpieza de las aguas de escorrentía por medio de filtros sencillos para la eliminación de partículas, olores, bacterias y turbiedad. Vargas, L. C. (2008). Sin embargo, desde principios del siglo XX se empezó a utilizar la cloración de las aguas, y fue entre los años 40 y 50, Berdonces, J. L. (2008).

En la actualidad se observa como grandes y pequeñas construcciones, hacen un aprovechamiento de las aguas lluvias que caen en las áreas y zonas duras, para su consumo humano (luego del tratamiento y potabilización), y/o para uso doméstico. Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD, 2015). Sin embargo, Berdonces, J. L. (2008), menciona que los tratamientos de agua son un problema complejo, debido a que, al introducir diferentes tipos de sustancias, pueden perjudicar la salud de quien la bebe.

Actualmente existen muchas empresas que optaron por el estilo de vida sostenible, no solo teniendo en cuenta el factor ambiental, sino el factor económico, ya que el hecho de usar fuentes alternativas de agua genera una disminución de consumo en agua potable. Sánchez Castaño, A. M. (2011). Según especifica Suárez, García y Mosquera en su manual, los sistemas están divididos en dos:

Sistemas sencillos, los cuales constan de los componentes anteriormente mencionados.

Sistemas complejos, los cuales involucran tratamientos para la limpieza, desinfección, y distribución del agua mediante sistemas de bombeo.

Kinkade-Levario, H. (2007), menciona algunos aspectos de la recolección de agua en techos:

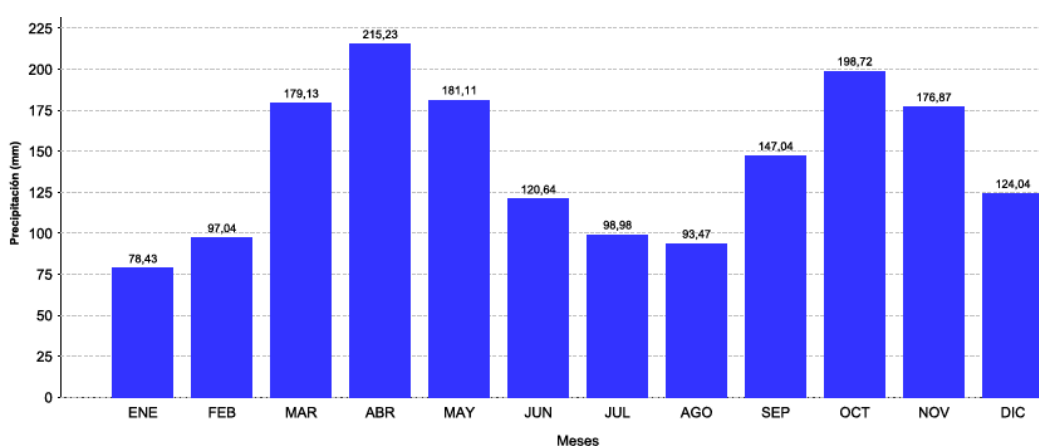
La recolección de agua en los techos suele ser menos costosa, ya que se desliza fácilmente hasta llegar al sistema de captación, y recoge menos sólidos. Un sistema de recolección de agua lluvia es fácil de construir, operar y mantener. A diferencia de la recolección de agua escorrentía, el agua que baja directamente de un techo, se aprovecha casi que en un 90%.

1 DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA DE RECOLECCIÓN DE AGUA LLUVIA ACTUAL Y PROPUESTA DE MEJORA.

1.1 INFORMACIÓN PLUVIOMÉTRICA

Para determinar la cantidad de agua lluvia que se convierte en escorrentía superficial dentro del campus, fue necesario analizar los datos proporcionados por la CVC (2018), la cual generó un promedio de las precipitaciones mensuales multianuales generadas en los últimos 46 años, desde 1971 al 2017 en el municipio de Zarzal Valle.

Gráficas 1 Precipitación promedio (mensual multianual 1971 - 2017)



Fuente: CVC 2018.

1.2 DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA ACTUAL DE RECOLECCIÓN DE AGUA LLUVIA

El sistema de recolección de agua lluvia de la sede, solo consta de:

Área de captación: Unos de los lugares de captación es el techo de gradería junto con el techo de la cafetería que desembocan directamente en el tanque de almacenamiento, luego se encuentran los bajantes del techo del edificio de aulas que conecta con el agua de escorrentía, mezclándose y dirigiéndose en diferentes sentidos (una parte hacia el tanque y la otra, hacia un canal que desemboca en un humedal).

En la ilustración 2, se tiene una vista superficial del sistema de recolección actual de agua lluvia del campus las balsas de la universidad del valle sede Zarzal.

Ilustración 2 Sistema de recolección de agua.



Fuente: Personal de mantenimiento de la Universidad del Valle

Transporte: Consta de tres canales perimetrales cavados en el suelo, los cuales dirigen el agua hacia las compuertas por gravedad debido a sus grados de inclinación, éstas se encargan de permitir o denegar el acceso del agua lluvia al tanque de almacenamiento.

Como se puede observar en la Ilustración 3, los canales perimetrales no se encuentran en condiciones para dirigir el agua que se planea utilizar, debido a que se encuentran excavados en el jardín, provocando la presencia de lodos y sólidos suspendidos orgánicos en el agua almacenada.

Ilustración 3 Canal perimetral



Fuente: Personal de mantenimiento de la Universidad del Valle.

Almacenamiento: Existen dos compuertas encargadas de abrirse cuando el Campus alcanza un alto nivel de esorrentía y aún tiene espacio disponible, por el contrario, se cierran y no tiene mayor efectividad evitando inundaciones en la zona. El tanque es demasiado pequeño e insuficiente para la cantidad de agua que puede recogerse dentro de las áreas de captación.

En la ilustración 4, se visualiza el proceso de llenado del tanque con alto contenido de sólidos suspendidos y turbiedad, sin embargo, se realiza un proceso de limpieza no muy constante, con el fin de extraer la mayor cantidad

de materia extraña y lodos retenidos al fondo para que sea posible bombear el agua sin obstruir el tubo de succión de las motobombas.

Ilustración 4 Tanque de almacenamiento de agua.



Fuente: Personal de mantenimiento de la Universidad del Valle.

Bombeo: Cuenta con dos (2) motobombas de 3HP, 3" de diámetro y un consumo de 2,24 Kwh/h que expulsan el agua que ingresa al tanque de almacenamiento cuando éste alcanza su máxima capacidad, una motobomba dirige el agua hacia la red de alcantarillado y la otra, la regresa al canal perimetral para ser absorbida por la materia mineral y orgánica. Otras dos (2) motobombas de 3HP, 3" de diámetro y un consumo de 2,24Kwh/h, se encuentran en el cuarto de máquinas para bombear el agua potable almacenada a las redes hidráulicas de la universidad.

También cuenta con una (1) motobomba de 2 HP, 2" de diámetro y un consumo de 1,49 Kwh/h para impulsar el sistema de riego, el cual se encuentra actualmente inhabilitado debido a la falta de aspersores. Se requiere constante supervisión y mantenimiento de las motobombas con el fin de evitar el rebosamiento del tanque. Actualmente el 100% del agua recolectada es desechada a la red de alcantarillado, debido a que el sistema de riego no se ha puesto en marcha a causa de la anteriormente mencionada. (Ossa Gonzalez, 2020).

Ilustración 5 Sistema de almacenamiento y bombeo de agua.



Fuente: Personal de mantenimiento de la Universidad del Valle.

Cabe destacar que el sistema surgió inicialmente como método anti-inundación, con el fin de bombear el agua lluvia retenida dentro del campus, hacia la red de alcantarillado, canales perimetrales y jardinería. Sin embargo, con una propuesta de mejora eficiente en el sistema de recolección y la selección de un tratamiento adecuado, se puede generar un aprovechamiento notable del recurso hídrico, utilizándose como alternativa de reemplazo del agua potable del acueducto municipal en temporada de lluvias, generando menores costos de consumo y minimizando así, la huella hídrica de la Universidad.

1.3 CALIDAD DEL AGUA LLUVIA A CAPTAR.

Como se observó en la Ilustración 4, la calidad del agua de escorrentía es mucho más baja que la calidad del agua captada directamente de los techos debido al alto nivel de turbiedad generada por los canales perimetrales, ya que poseen gran cantidad de materia vegetal y mineral. Por lo tanto, se decidió recolectar una muestra del agua lluvia físicamente más limpia que baja directamente de los techos de gradería para realizar un análisis de propiedades fisicoquímicas, organolépticas y microbiológicas, con el fin de comparar los parámetros de esta con los establecidos por la Resolución 2115 de 2007 que determina la calidad de agua para el consumo humano.

En el análisis se evaluaron parámetros de aspecto, color aparente, conductividad, dureza total, pH, turbiedad, coliformes totales, bacterias mesófilas aerobias y E. Coli. En la tabla 2 se evidencian los resultados obtenidos de cada parámetro con relación a los valores máximos de calidad admisibles en la norma para el consumo humano.

Tabla 2 Análisis de agua lluvia

CARACTERÍSTICAS	ESPECIFICACIÓN	RESULTADO
FISICOQUÍMICAS		
Conductividad	1000 máximo	28,8
pH	6,5 - 9,0	6,44
Turbidez	2 máximo	11,60
Dureza total	300 máximo	26
MICROBIOLÓGICAS		
Coliformes	0	Incontables
<i>E. coli</i>	0	Incontables
Bacterias Mesófilas Aerobias	100 máximo	Incontables
CARACTERÍSTICAS SENSORIALES		
Color		Incolora
Aspecto		Transparente

OBSERVACIONES:	
-----------------------	--

S.M.R.

ELABORADO POR:

Paola Andrea

Espinosa O.

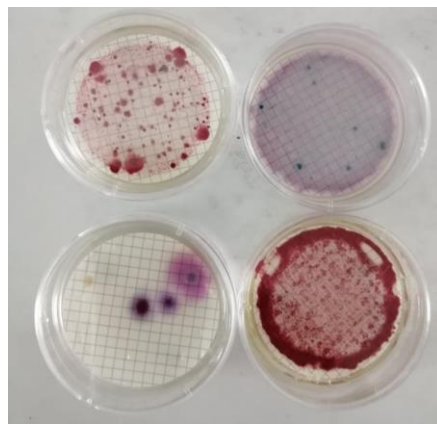
Sandra Milena Montoya Rivera

JEFE CONTROL

PROCESOS (E) Microbióloga

RIOPAILA CASTILLA

Ilustración 6 Coliformes y bacterias meso-aerobias de las muestras de agua lluvia y agua potable del campus.



Fuente: Sandra Milena Montoya R, microbióloga - Riopaila.

Según los resultados obtenidos en el análisis, los niveles de turbidez, coliformes, E-coli y bacterias mesófilas aerobias, superan los establecidos por la norma y el Ph está por debajo de ella. Esto quiere decir que se requiere un tratamiento apto para igualar los parámetros anteriormente descritos.

Es necesario especificar que los resultados fueron obtenidos de la muestra del agua que baja directamente de los techos y no del agua almacenada en el tanque debido a que dificultaría el análisis dado la cantidad de materia extraña. Teniendo en cuenta esto, se procedió a descartar la inclusión del agua de escorrentía en el tratamiento a proponer y se optó por tratar solo el agua de los techos, minimizando los costos de tratamiento y mantenimiento de estos.

1.4 MODELO DE CÁLCULOS.

Para la obtención de los datos requeridos en el diagnóstico, se recurrió a algunas fórmulas planteadas en proyectos de misma índole con el fin de hallar el aprovechamiento del agua lluvia que cae sobre los techos del Campus.

1.4.1 área de captación.

Está determinada por la longitud, el ancho y el ángulo de inclinación del techo con relación a la vertical. (Materon Muñoz, 1997). Para calcular el área de captación de los techos se utilizó la ecuación (1):

$$(1) \quad A_c = L * b * \text{Sen} \alpha$$

Dónde:

A_c = área de captación en m²

L = longitud del techo, en m.

b = ancho del techo, en m.

α = ángulo del techo con la vertical.

Con la fórmula anterior se concluyó que el área de captación del techo de graderías es de 409,4 m². El área de captación del techo de la cafetería y restaurante es de 295,16 m². Y el área de captación del techo de aulas es de 1665,37 m². (Anexos 1, 2 y 3 respectivamente). Teniendo un área total de captación de agua lluvia, equivalente a 2369,93 m².

1.4.2 oferta de agua en el mes “i” (A_i)

Teniendo en cuenta los promedios mensuales de precipitaciones de todos los años evaluados, el material del techo y el coeficiente de escurrimiento de 0,75 establecido por Benítez et al; (1980), se procede a determinar la cantidad de agua captada para diferentes áreas de techo y por mes. Para calcular la oferta de agua al mes se emplea la ecuación (2).

$$(2) \quad A_i = \frac{P_{pi} * C_e * A_c}{1000}$$

Donde:

A_i : oferta de agua en el mes “i” (m³)

P_{pi} : precipitación promedio mensual (L/m²)

C_e : coeficiente de escurrimiento

A_c : área de captación (m²)

El valor del coeficiente de escurrimiento propuesto por Benítez et al (1980), de acuerdo con el terreno e inclinación del mismo se encuentra establecido en el Anexo 4. De acuerdo con Abdulla y Al-Shareef (2009), muchos diseñadores asumen un valor del 20% anual en pérdidas debidas a la evaporación, a la textura del material del techo, a las pérdidas en las canaletas y en el almacenamiento, y a la ineficiencia del sistema de captación, por tal razón se afecta el volumen de la oferta disponible por ese porcentaje para no sobredimensionar el sistema e incluir en el diseño las pérdidas asociadas. De esta manera ese valor porcentual se distribuye uniformemente durante los doce meses del año para determinar la oferta mensual, obteniendo la ecuación (3).

$$(3) \quad A'i = A_i - \left(A_i * \frac{0.2}{12} \right)$$

Donde:

A*i*: oferta de agua en el mes “i” teniendo en cuenta las pérdidas (m3)

Ai: oferta de agua en el mes “i” (m3)

Por lo tanto, la oferta de agua anual, teniendo en cuenta las pérdidas mencionadas, sería de 2990 m3. Promediándose a 253,39 m3 mensuales. (Anexo 5).

1.4.3 Demanda del agua

Respecto a la demanda del agua, se procedió a cuantificar el número de estudiantes, docentes, administrativos, vigilantes, cocineras y personal de aseo que hacen uso del recurso en el Anexo 6. Para calcular la demanda de agua al mes se emplea la ecuación (4).

$$(4) \quad Di = \frac{Nu * Nd * Dot}{1000}$$

Dónde:

Di = demanda mensual (m3)

Nu = número de usuarios que se benefician del sistema

Nd = número de días del mes analizado

Dot = dotación (litro/persona/día)

Es necesario aclarar que los valores de consumo de agua para instituciones educativas establecidos en la normatividad colombiana NTC 1500 (2004) no representan la realidad ya que estos consumos dependen de las situaciones particulares de las instituciones. Para el caso del presente estudio, el consumo bruto de estudiantes es de 10 litros*usuario-1*día-1, mientras el consumo neto del personal es de 15 litros*usuario-1*día-1. La variación en el valor del indicador se debe, en primera medida, a los usos de agua y tiempos de permanencia en la institución, que corresponden con las actividades que se realizan diariamente.

El consumo de agua general mensual calculado es de 238,45 m3 como se evidencia en el Anexo 7. Cabe resaltar que hay una pausa de dos meses cada 4 meses, por lo tanto, en el año, el consumo hace referencia a 8 meses con un total de 1911,18 m3.

1.4.4 Interceptor de primeras aguas

Este elemento permite recolectar las primeras aguas lluvias que caen y lavan el techo, por lo tanto, es necesario desviarlas para no ser almacenadas en el tanque. Su diseño, de acuerdo con los parámetros establecidos en la metodología del CEPIS (2004), establece que se requiere un litro de agua lluvia para lavar un metro cuadrado del techo, es decir que el volumen del tanque interceptor se calcula con la ecuación (5):

$$(5) \quad V_{\text{int}} = \left(1 \frac{L}{m^2} * A_{\text{techo}} \right) / 1000$$

Donde:

V_{int}: Volumen del interceptor (m³)

A_{techo}: Área del techo a captar (m²)

Por lo tanto, el volumen apropiado para el tanque de primeras aguas propuesto debe ser de 3 m³.

1.4.5 Potencial ahorro de agua potable

El potencial de ahorro de agua potable se determina de acuerdo con el volumen de agua lluvia posible de ser recolectada y la demanda existente, en un mes, cómo se expresa en la ecuación (6):

$$(6) \quad PPWS = 100 * \frac{VR}{PWD}$$

Donde:

PPWS: Potencial de Ahorro de Agua Potable (por sus siglas en inglés) (%)

VR o A_i: Volumen mensual de agua lluvia que puede ser recolectado (m³/mes)

PWD o D_i: Demanda mensual de agua potable (m³/mes). Ghisi, Bressan y Martini (2007).

Como resultado, tenemos que el ahorro potencial de agua potable puede ser del 106%.

1.4.6 Volumen del tanque de almacenamiento

Para conocer el volumen necesario de almacenamiento se debe encontrar la diferencia entre la oferta y la demanda acumuladas para cada mes, de esta manera el mayor valor de diferencia será el volumen del tanque adoptado. Si las diferencias dan valores negativos, quiere decir que las áreas de captación no son suficientes para satisfacer la demanda. (Palacio, 2010).

1.4.6.1 Demanda acumulada

$$(7) \quad Dai = Da (i-1) + Di$$

Dónde:

D_{ai} = demanda acumulada al mes “i” (m³)

D_{a (i-1)} = demanda acumulada al mes anterior “i-1” (m³)

D_i = demanda del mes “i” (m³)

1.4.6.2 Oferta acumulada

$$(8) \quad Aai = Aa (i-1) + A'i$$

Dónde:

Aai = oferta acumulada al mes “i” (m3)

Aa (i-1) = oferta acumulada al mes anterior “i-1” (m3)

A' = oferta del mes “i” teniendo en cuenta las pérdidas (m3)

1.4.7 Volumen de almacenamiento

$$(9) V_i = A_{ai} - D_{ai}$$

Dónde:

V_i = volumen de almacenamiento del mes “i” (m3)

Aai = oferta acumulada al mes “i” (m3)

Dai = demanda acumulada al mes “i” (m3)

En la tabla 3, se observa la oferta y demanda acumulada. Según el análisis desarrollado, el sistema tendrá capacidad de abastecimiento de 8 meses, por lo que se requiere un tanque de almacenamiento de 43 m3.

Tabla 3 Tamaño de tanque propuesto

Mes	Oferta	Oferta acumulada	Demanda	Demanda Acumulada	Volumen del tanque
Enero	139,41	139,41	238,45	238,45	-99,04
Febrero	172,48	311,89	238,45	476,89	-165,01
Marzo	318,39	630,28	238,45	715,34	-85,06
Abril	382,56	1012,84	238,45	953,79	59,05
Mayo	321,91	1334,76	238,45	1192,24	142,52
Junio	214,43	1549,19	238,45	1430,68	118,50
Julio	175,93	1725,12	238,45	1669,13	55,99
Agosto	166,14	1891,26	238,45	1907,58	-16,32
Septiembre	261,36	2152,61	238,45	2146,03	6,59
Octubre	353,21	2505,83	238,45	2384,47	121,35
Noviembre	314,38	2820,20	238,45	2622,92	197,28
Diciembre	220,47	3040,68	238,45	2861,37	179,31
TAMAÑO DEL TANQUE PROPUESTO					42,93

Fuente: Los autores.

En el diagnóstico del sistema de captación de agua de escorrentía actual del Campus Las Balsas de la Universidad del Valle, sede Zarzal, se encontraron puntos a favor de los cuales se puede obtener mayor beneficio. Sin embargo, se optó por utilizar el agua lluvia directamente de los techos, dado que su calidad es mucho más alta que la calidad del agua de escorrentía.

Con las áreas de captación y la pluviosidad del sector, se puede generar un aprovechamiento significativo del agua lluvia junto con un ahorro del 106% de agua potable, además cuenta con sistema de bombeo y canales de transporte para la misma. No obstante, también se observaron falencias en el sistema, como el no aprovechamiento del recurso y la mala condición de los canales de transporte que empeoran la calidad del agua.

Para considerar la factibilidad del presente proyecto, es necesario tener en cuenta el factor técnico, ya que éste va directamente ligado a la oferta y demanda de acuerdo con la precipitación pluvial anual del municipio y los usos destinados para el agua recolectada. Otro factor importante es el económico, este determina el costo de la inversión inicial del proyecto, la comparación de alternativas de acuerdo con costos y el beneficio económico a mediano y largo plazo. Cualquier sistema en general para su implementación, se relaciona con dificultades económicas, operativas y ambientales asociadas especialmente con sistemas centralizados de agua. Además, los principales componentes del sistema como lo son: la zona de captación, los métodos de tratamiento y los tanques de almacenamiento, afectan directamente el rendimiento del sistema (Fewkes, 1999).

1.5 PROPUESTA DE MEJORA

Con el fin de dar cumplimiento a los objetivos propuestos inicialmente y teniendo presente el diagnóstico realizado, se optó por captar el agua lluvia directamente de los techos, de esta manera se facilitará el mantenimiento de la tecnología de tratamiento seleccionada y alargará su vida útil. El agua de escorrentía seguirá su cauce hacia el tanque actual para ser usada en labores de riego de zonas verdes.

Para garantizar la conservación de los parámetros del agua lluvia, un tratamiento eficiente y un correcto almacenamiento, es necesario realizar los siguientes cambios técnicos en la arquitectura del sistema actual:

Estructura de captación: Las áreas de captación establecidas, fueron las tres cubiertas (aulas, cafetería y gradería), éstas se encuentran recubiertas por una película aislante térmico-reflectiva, evitando la filtración y contaminación del agua como se muestra en la ilustración 7.

Ilustración 7 Cubierta de aulas



Fuente: Los autores.

Transporte: Es necesario realizar una conexión directa desde los terminales o bajantes de los techos hasta el tanque interceptor de primeras aguas, por medio de tubería PVC con el fin de evitar mayor contaminación de las aguas. Además

Almacenamiento: Se propone la construcción/compra de dos tanques de almacenamiento de agua para completar el sistema. Se colocará un primer tanque de intercepción de primeras aguas para 3 m³ con el fin de eliminar la mayor cantidad de partículas de polvo y suciedad, éste tanque contará con una válvula de flotación que dirige el agua hacia un segundo tanque al momento de llenarse. El segundo tanque, es el tanque de almacenamiento para 43 m³ que recibe el resto del agua lluvia, en el cual se incluirá otra válvula de flotación para que, al alcanzar su máximo nivel de capacidad (52 m³ en caso de fuertes lluvias), dirija el agua restante, hacia el tanque de agua de escorrentía.

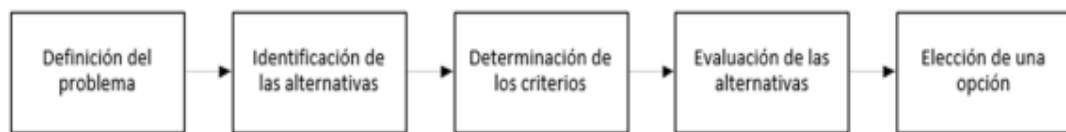
En ese mismo orden de ideas, el agua tratada sale del sistema para ser depositada en el tanque de agua potable, mezclándose con la misma. Y posteriormente, será bombeada hacia el sistema hidráulico para su consumo con las bombas usadas actualmente. En la ilustración 8 se observa un esquema de la propuesta de recolección y tratamiento planteada.

18

2 SELECCIONAR LA ALTERNATIVA DE TRATAMIENTO QUE MEJOR SE ADAPTE AL SISTEMA MEDIANTE UNA HERRAMIENTA DE DECISIÓN MULTICRITERIO.

La mayor parte de las decisiones que un individuo toma en el día a día se realiza por intuición. En el momento en el que se presenta un problema de mayor importancia y se quiere tomar decisiones importantes en un problema, aparece el proceso de toma de decisiones, el cual debe pasar por una serie de fases y se muestra en la ilustración 9:

Ilustración 9 Fases en la toma de decisiones.



Fuente: Ríos, R. G. et al; (2007)

La toma de decisiones es un proceso que permite obtener soluciones que satisfagan diferentes objetivos. Este proceso puede llevarse a cabo de múltiples formas. Hwang y Yoon (1981). Los diferentes métodos MADM (métodos de toma de decisión multi-atributo) se pueden clasificar de diferentes formas como se muestra en la tabla 4:

Tabla 4 Clasificación de los métodos MADM

Grupo MADM	Método MADM	Definición
Métodos de puntuación directa	Simple additive weighting (SAW)	Este método consiste en obtener la suma para cada alternativa del producto de cada criterio normalizado y su peso relativo. Podvezko, V. 2011
	Complex proportional assessment (COPRAS)	Es una evolución del método SAW que permite superar alguna de sus limitaciones. Podvezko, V. 2011
Métodos basados en la distancia	Compromise programming (CP)	Trata de encontrar la solución de compromiso más cercana al punto ideal u óptimo. Ballesteros, E. 2007
	Technique for order of preference by similarity to ideal solution (TOPSIS)	Este método consiste en elegir la alternativa de acuerdo con las distancias. Opricovic, S.; Tzeng, G. H. 2004

	Multicriteria optimization and compromise solution (VIKOR)	Se basa en determinar la alternativa más cercana. Opricovic, S.; Tzeng, G. H. 2004
Métodos de comparación por pares	Analytic hierarchy process (AHP)	Se emplea para analizar variables cualitativas y cuantitativas frente a varios criterios/objetivos. Görener, A. 2012
	Analytic network process (ANP)	El método ANP es una generalización del método AHP que se recomienda aplicar cuando el decisor se enfrenta a problemas en los que los elementos están relacionados entre sí, es decir, son interdependientes. Görener, A. 2012
	Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique (MACBETH)	Se realiza mediante una estructura jerárquica, donde el objetivo final se encuentra en el nivel más elevado, y los criterios y subcriterios en los niveles inferiores. Bana e Costa, C. A. 2004
Método de superación	Elimination and choice expressing reality (ELECTRE)	Se basa en unos índices de concordancia (c) y discordancia (d). En un par de alternativas (A _j y A _k) el índice de concordancia (c _{jk}) es la suma de los pesos de aquellos criterios cuyo valor en la alternativa j sea mayor que en la alternativa k. Govindan, K.; Jepsen, M. B. 2016
Métodos basados en funciones de utilidad o valor	Multi-attribute utility theory (MAUT)	Identifica un grado de satisfacción en condiciones de incerteza. Sarabando, P.; Dias, L. C. 2010
	Multi-attribute value theory (MAVT)	identifica un grado de satisfacción en condiciones de certeza. Sarabando, P.; Dias, L. C. 2010

	Modelo integrado de valor para evaluaciones sostenibles (MIVES)	Es un derivado de los anteriores en el cual se proporciona las ecuaciones que definen las diferentes funciones de satisfacción. Pons, O. 2013
--	---	---

Fuente: Investigación de los autores.

2.1 SELECCIÓN DEL MÉTODO MULTICRITERIO.

Después de analizar los métodos anteriormente descritos, se realizó un estudio bibliográfico donde se hallaron veinticinco (25) casos de estudio referentes a proyectos similares, en los cuales utilizaron herramientas de toma de decisión multicriterio para tomar la mejor decisión.

El Anexo 8 presenta una tabla de datos conformada por los métodos hallados en la literatura ubicados en filas, y las referencias de cada estudio ubicadas en la primera columna. De esta forma, se procedió a colocar una equis (x) en cada estudio que implementó alguno de los métodos mencionados. Finalmente, se sumaron los resultados y se llegó a la conclusión de elegir el método con mayor número de “x”. Por lo tanto, en este proyecto se implementará Analytic Hierarchy Process (AHP) y TOPSIS para la selección del tratamiento de agua lluvia en el Campus Las Balsas de la Universidad del Valle, puesto que son las herramientas que se han utilizado con mayor frecuencia en proyectos de la misma índole.

2.2 ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO.

Para la potabilización del agua de lluvia se deben efectuar los requerimientos de la Resolución número 0330 de 2017, donde se señalan las tecnologías para tratamiento del agua como consumo humano.

Tabla 5 Tecnologías de tratamiento de potabilización.

TECNOLOGÍA DE TRATAMIENTO CONTAMINANTE QUE SE VA A REMOVER	Aeración	Coagulación + Floculación + Sedimentación	Filtración Convencional	Ablandamiento	Oxidación Química	Microfiltración	Ultrafiltración	Nanofiltración	Ósmosis inversa	Electrodialisis inversa	Intercambio iónico	Filtración por adsorción	Filtración optimizada
Características físicas													
Color aparente		X	X		X	X	X	X	X			X	X
Olor y sabor	X				X							X	
Turbiedad		X	X			X	X						X
Sólidos disueltos totales		X	X			X	X		X	X	X		X

Características microbiológicas											
Escherichia Coli			X			X	X				X
Giardia y Cryptosporidium						X	X				X

Fuente: Ministerio de vivienda, ciudad y territorio 2018

Las alternativas preseleccionadas son:

PTALL INGEAGUAS: Es un sistema para el aprovechamiento de las aguas lluvias captadas en techos. El sistema de potabilización a través de los procesos convencionales de neutralización, filtración y desinfección garantiza la calidad para uso doméstico y/o industrial. Ingeaguas S.A.S. (2020).

PETALL AQUAFILTROSCOL: Para aguas sin pretratamiento previo, (Fuentes naturales, pozos, ríos, aljibes, lluvias, etc). Solo para consumo humano o embotellar agua, no apto para procesos. Garantiza agua potable de excelente calidad apta para el consumo, ofrece un excelente manejo de la turbiedad, color, olor, sabor y elimina el 96% de los contaminantes inorgánicos del agua. Aquafiltroscol, (2020).

PTALL EDUARDOÑO: Sistema para tratamiento de aguas lluvias compuesto por una bomba de succión para alimentar la planta desde el tanque para almacenamiento de aguas lluvias, seguido por un proceso filtración directa en medio de gravas, arena y carbón activado donde las partículas quedan retenidas por medio de dos mecanismos. Por último, se realiza un proceso de desinfección en un tanque de contacto que a su vez se utiliza para realizar el retro lavado de los filtros. Eduardoño. (s. f.) Recuperado 12 de octubre de 2020

PTALL ARGEZA: Sistema de filtración para agua lluvia automático de uso doméstico. Remueve sedimentos, color y olor de agua a tratar. Elimina contaminantes presentes como: metales pesados, hierro, plaguicidas, arsénico y H₂S. Caudal de salida 4 gpm o 15 litros por minuto. Elimina partículas hasta 5 micras. Incluye todos los accesorios para su total funcionamiento y manual de operación mantenimiento. Argeza. (s. f.) Recuperado 25 de octubre de 2020

PTALL AMBIENTE Y SOLUCIONES INTEGRALES (ASI): Unidad de tratamiento de agua lluvia con Filtro Pulidor, Filtro Desodorizado, Microfiltración y para la desinfección, Unidad de Cloración. También incluye estructura metálica para ubicación y se entrega preensamblada. Ambiente y Soluciones Integrales. (2019).

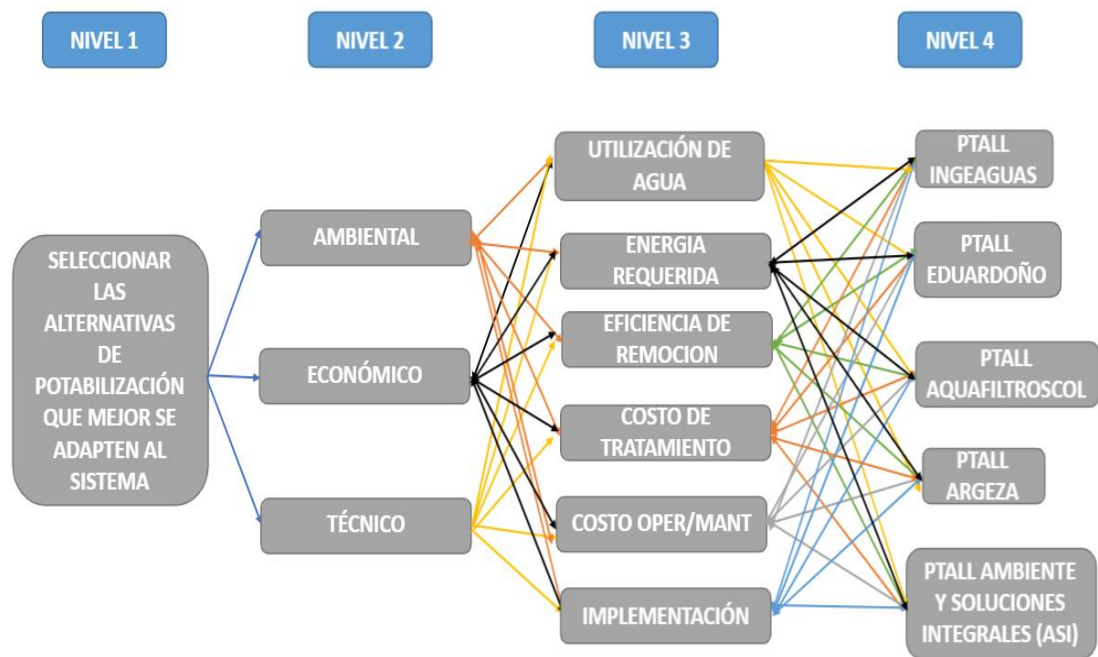
Los tratamientos partícipes son propuestas que incluyen las tecnologías mencionadas en la Tabla 5, brindando solución a los problemas reflejados en el análisis fisicoquímico y microbiológico, sin embargo, deben cumplir con otros criterios relevantes en la selección de este.

2.3 CRITERIOS.

Para este punto, se utilizó la misma dinámica usada en la selección de la metodología multicriterio (Anexo 9), arrojando como resultado, los seis (6) criterios más relevantes para tener en cuenta en la evaluación de los tratamientos propuestos.

Con los datos obtenidos, en la ilustración 10 se presenta el modelo jerárquico para la toma de decisiones.

Ilustración 10 Modelo jerárquico de objetivos, criterios y alternativas para la investigación planteada



Fuente: Los autores.

El objetivo de utilizar la herramienta multicriterio es seleccionar la alternativa de potabilización que mejor se adapte al sistema de captación propuesto, los criterios establecidos se definen en la tabla 6.

Tabla 6 Definición de criterios.

DEFINICIÓN DE CRITERIOS				
ASPECTO	CONCEPTO	CRITERIO	CONCEPTO	FUENTE
AMBIENTAL	Modificación del ambiente ocasionada por la acción del hombre o de la naturaleza	Reutilización de agua	Es la capacidad de la tecnología de tratamiento para proveer un efluente con la calidad necesaria para ser reutilizado	Melián-Navarro, A. (2016). Reutilización de agua para la agricultura y el medioambiente. <i>Agua y Territorio/Water and Landscape</i> , (8), 80-92.
		Energía requerida	Este criterio tiene en cuenta la energía que requiere la tecnología de tratamiento. S	Ramón, V. L. (2010). Infraestructura sustentable: las plantas de tratamiento de aguas residuales. <i>Quivera. Revista de Estudios Territoriales</i> , 12(2), 58-69.
		Eficiencia de remoción	Mide la eficiencia de remoción que tiene la tecnología de tratamiento para remover un contaminante en particular. El contaminante de referencia depende del nivel de tratamiento que se desea alcanzar,	Ramón, V. L. (2010). Infraestructura sustentable: las plantas de tratamiento de aguas residuales. <i>Quivera. Revista de Estudios Territoriales</i> , 12(2), 58-69.
ECONOMICO	Se relaciona con los costos. Se distinguen dentro de esta categoría los costos de capital o los costos asociados a la operación y el mantenimiento.	Costos de tratamiento	Los costos de tratamiento incluyen los costos de transporte, mecánicos y cualquier costo asociado a la instalación	Quintero, D. S., Zapata, M. A., & Guerrero, J. (2007). Modelo de costos para el tratamiento de las aguas residuales en la región. <i>Scientia et technica</i> , 1(37).
		Costos de operación y mantenimiento	Estos costos incluyen la energía eléctrica necesaria para el funcionamiento de la planta, los químicos y sustancias utilizadas en la operación, repuestos y costos de mantenimiento.	Quintero, D. S., Zapata, M. A., & Guerrero, J. (2007). Modelo de costos para el tratamiento de las aguas residuales en la región. <i>Scientia et technica</i> , 1(37).
TECNICO	La especificación técnica de un producto es un documento interno que recoge información básica del mismo. En ella se recogen datos claves de forma clara y concisa, y de las características técnicas del producto en concreto	Durabilidad/Vida útil	Es el periodo de tiempo en el que la estructura conserva su seguridad, funcionalidad y estética en los niveles definidos en el proyecto sin costos inesperados de mantenimiento	ANDRADE, J. J. D. O. (2005). Vida útil das estruturas de concreto. <i>Concreto: Ensino, Pesquisas e Realizações. Geraldo Isaia (Ed.). IBRACON, São Paulo</i> , 923-951.
		Fácil implementación	La ausencia de personal calificado o la dificultad para contar un profesional de tiempo completo aumenta el nivel de complejidad de tecnología en particular.	Frascaroli, M. (2020, 6 junio). <i>Facilidad de gestión y rápida implementación: claves en la elección de soluciones de servicio al cliente</i> . Medium. https://planetachatbot.com/facilidad-gestion-y-rapida-implementacion-claves-en-eleccion-soluciones-cliente-4d3103113097
		Confiabilidad	un sistema es más confiable, si tiene menor probabilidad de fallas en su funcionamiento	.Zapata, C. (2011). Confiabilidad en ingeniería. Universidad Tecnológica de Pereira., Pereira, Colombia: http://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenharia-eletrica/lapsee/curso_2011_zapata_1.p df .

Fuente: Los autores.

En el anexo 10 se encuentra la tabla con los parámetros de cada criterio para las alternativas.

2.4 IMPLEMENTACIÓN DEL AHP-TOPSIS.

La determinación de pesos de los criterios, previo al uso de TOPSIS, se realizó mediante el Proceso de Análisis Jerárquico (AHP), la cual ha sido una herramienta muy utilizada para este fin según la literatura citada en el Anexo 8. Los pasos realizados para el desarrollo de cada metodología se describen a continuación:

2.5 METODO AHP

2.5.1 Determinación del número de expertos.

Según González Almaguer (2006), experto es una persona o un grupo de ellas u organizaciones capaces de ofrecer valoraciones conclusivas de un problema en cuestión y hacer recomendaciones al respecto con un máximo de competencia. El grupo de expertos debe estar entre 7 y 15 para mantener un nivel de confianza y calificación elevado según la Norma de Calidad 49:1981. “Calidad. Métodos de expertos”

La formulación más encontrada en la literatura y con la cual se calculó el número de expertos requeridos al momento de justificar la confiabilidad de los resultados, es la ecuación 10:

$$(10) \quad n = \frac{P(1-P)K}{i^2}$$

Fuente: Sarache-Castro, W. A., Cárdenas-Aguirre, D. M., & Giraldo, J. A. (2005).

Donde:

n: Número de expertos.

i: Nivel de precisión deseado.

p: Porcentaje de error que como promedio se tolera.

k: Constante asociada al nivel de confianza.

Tabla 7 Valores de la constante k.

Nivel de confianza (%)	K
99	6,6564
95	3,8416
90	2,6896

Fuente: NC 49:1981.

Teniendo en cuenta las investigaciones realizadas, se tomaron valores utilizados por autores como Sarache; et al (2012). Y Martell, C. M. D., & Reyes, L. G. (2018). De esta forma se obtuvo un número adecuado de expertos de 8,13 con un 99% de confianza; se decidió aproximar el resultado al entero mayor, siendo nueve “9” el número de expertos utilizados en esta investigación.

Para la selección de los expertos se tuvieron en cuenta los siguientes factores según la literatura mencionada anteriormente:

Formación académica: Currículum profesional que describe la trayectoria formativa recibida en las universidades e instituciones de educación superior que concluye provisionalmente con el grado académico de pregrado y/o postgrado. Quero, V. D. (2006).

Experiencia profesional: Es el conocimiento homogéneo cuya medida son los años de vida profesional, captando heterogeneidad de las trayectorias y capacidades productivas. Suleman, F., & Paul, J. J. (2007)

Conflicto de Intereses: Los expertos deben ser ajenos a los tratamientos preseleccionados, esto quiere decir que sus motivaciones e intereses no pueden estar relacionados con el problema a abordar. (Calvés Hernández & Calderón Millian, 1998)

Una vez seleccionados los 9 expertos, se elaboró un listado con información referente a sus competencias y experiencia como se aprecia en la Tabla 8.

Tabla 8 Lista de expertos.

# EXPERTO	NIVEL EDUCATIVO	TITULO ALCANZADO	CARGO EJERCIDO	SECTOR	AÑOS DE EXPERIENCIA	INTERESES
1	Magister	Ingeniero Ambiental	Auditoría y Gestión Ambiental	Asesoría	5	Promover el desarrollo sostenible
2	Universitario	Ingeniero Ambiental	Ingeniero Ambiental	Impacto Ambiental	2	Proteger los recursos naturales
3	Universitario	Ingeniero Ambiental	Ingeniero Ambiental	Saneamiento	4	SEGURIDAD E HIGIENE Y CONTROL DE CALIDAD
4	Universitario	Ingeniero Ambiental	Ingeniero Ambiental	Ambiental	4	Promover el desarrollo sostenible
5	Magister	Ingeniero Ambiental	Ingeniero Ambiental y coordinador	Saneamiento	3	SEGURIDAD E HIGIENE Y CONTROL DE CALIDAD
6	Especialización	Ingeniero Ambiental	Ingeniero Ambiental	Ambiental	10	Promover el desarrollo sostenible
7	Especialización	Bacterióloga	Laboratorista clínico	Saneamiento	27	SEGURIDAD E HIGIENE Y CONTROL DE CALIDAD
8	Universitario	Técnico en potabilización	Técnico operativo de PTALL	Saneamiento	27	SEGURIDAD E HIGIENE Y CONTROL DE CALIDAD
9	Universitario	Ingeniero Sanitario	Profesional III operaciones	Saneamiento	16	SEGURIDAD E HIGIENE Y CONTROL DE CALIDAD

Fuente: Los autores.

2.5.2 Matriz de preferencias.

A cada experto se le realizó una encuesta para la calificación de los criterios teniendo en cuenta su conocimiento en el área y la preferencia o importancia que tiene cada criterio con respecto a otro (Anexo 11). La escala de calificación usada fue la propuesta por Saaty (1980).

Tabla 9 Escala de Saaty

DEFINICIÓN DE CRITERIOS	#	ESCALA DE SAATY
C1 UTILIZACIÓN DE AGUA	1	IGUALMENTE PREFERIDO (IGP)
C2 ENERGIA REQUERIDA	2	ENTRE IGP y MP
C3 EFICIENCIA DE REMOCION	3	MODERADAMENTE PREFERIDO (MP)
C4 COSTO TRATAMIENTO	4	ENTRE MP y FP
C5 COSTO OPE/MTTO	5	FUERTEMENTE PREFERIDO (FP)
C6 IMPLEMENTACION	6	ENTRE FP y MFP
	7	MUY FUERTEMENTE PREFERIDO (MFP)
	8	ENTRE MFP y EXP
	9	EXTREMADAMENTE PREFERIDO (EXP)

Fuente: Los autores

Una vez obtenidos los juicios de cada experto sobre las comparaciones planteadas en el modelo AHP, los valores finales se derivaron mediante la media geométrica de los juicios en el Anexo 12 y los resultados se describen en la matriz de preferencia desarrollada que se muestra en la Tabla 10.

Tabla 10 Matriz de preferencia entre criterios.

C/C	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1	1	4/9	3/4	1/3	4/9	1 1/2
C2	2 2/9	1	2/3	2/3	3/5	2
C3	1 1/3	1 3/7	1	2	3 1/4	4
C4	2 5/6	1 1/2	1/2	1	4/5	3 3/5
C5	2 1/5	1 2/3	1/3	1 2/9	1	3 5/8
C6	2/3	1/2	1/4	2/7	2/7	1
	10,27	6,59	3,51	5,47	6,38	15,59

Fuente: Los autores.

2.5.3 Matriz normalizada

Ahora se normaliza la matriz de preferencias dividiendo cada elemento entre la suma de cada columna (ecuación 11) y los resultados se evidencian en la tabla 11.

$$(11) \quad W_{n \times 1} = (w_1 \quad w_2 \quad w_2 \quad \dots \quad w_n)^t$$

Tabla 11 Matriz normalizada.

C/C	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1	0,10	0,07	0,21	0,06	0,07	0,10
C2	0,22	0,15	0,20	0,12	0,09	0,12
C3	0,13	0,22	0,28	0,36	0,51	0,25
C4	0,28	0,23	0,15	0,18	0,13	0,23
C5	0,21	0,25	0,09	0,22	0,16	0,23
C6	0,06	0,08	0,07	0,05	0,04	0,06

Fuente: Los autores.

2.5.4 Vector prioridad.

Se promedian los elementos de cada fila de la matriz normalizada con la ecuación 12, para obtener el vector de prioridad. T. Saaty, L. Vargas. (2012). Los resultados se reflejan en la tabla 11.

$$(12) \quad v_{k=1..n} = \frac{\sum_{i=k, j=1}^{i=k, j=n} a_{ij}}{n}$$

Tabla 12 Vector prioridad.

C1	10,15%
C2	15,07%
C3	29,18%
C4	19,89%
C5	19,47%
C6	6,23%

Fuente: Los autores.

Para este caso, el criterio con mayor peso es el C3, correspondiente a la eficiencia de remoción, seguido de C4, correspondiente al costo de tratamiento.

2.5.5 Hallar Vector 1 y Vector 2

Es el producto de la multiplicación entre la matriz de preferencias y el vector prioridad, necesario para hallar el vector 2. El vector 2 es equivalente a la fracción del vector 1 y el vector prioridad.

Tabla 13 Vectores 1 y 2.

VECTOR 1		VECTOR 2	
C1	0,638	C1	6,287
C2	0,947	C2	6,287
C3	1,909	C3	6,542
C4	1,248	C4	6,274
C5	1,229	C5	6,312
C6	0,391	C6	6,275

Fuente: Los autores

2.5.6 Índice de consistencia IC.

Esta relación entre los vectores y número de criterios determina la consistencia de la matriz de orden n, ayuda a evidenciar si los resultados suministrados a la matriz deben ser reevaluados. El valor debe ser cercano a cero para obtener la máxima consistencia posible. T. Saaty, L. Vargas. (2012). Para ello, se emplea la ecuación 13 y se obtiene un índice de consistencia de 0,066.

$$(13) \quad CI = \frac{\lambda_{Max} - n}{n - 1}$$

Donde λ_{max} es el promedio de los datos obtenidos en el paso 6, también llamado Auto valor máximo de la matriz y n el número de criterio o alternativas comparadas. Saaty, T.L. (2008).

2.5.7 Índice aleatorio.

Este índice de consistencia es calculado mediante la fórmula 14 y nos arroja un resultado de 1,32

$$(14) \quad 1,98 \cdot \frac{n - 2}{n}$$

Sin embargo, se puede comparar con el de una matriz aleatoria, IR planteada por Saaty (1980), los cuales toman valores según el número de criterio o alternativas comparadas en la matriz como se observa en la tabla 14:

Tabla 14 Matriz aleatoria

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
IR	0	0	0,52	0,89	1,11	1,25	1,35	1,40	1,45	1,49

Fuente: Saaty (1980)

2.5.8 Coeficiente de consistencia.

Por último, se determina la Relación de consistencia CR mediante la fórmula 15, la cual relaciona el índice de consistencia CI, con el Índice aleatorio RI. Saaty (1980), sugiere que el valor de CR debe ser menor que 0,1 (10 %) para validar que se cumple con la consistencia del método AHP.

El coeficiente de consistencia es 0,050 y 0,053 con un RI de 1,3 y 1,25 respectivamente.

$$(15) \quad CR = \frac{CI}{RI}$$

2.6 METODO TOPSIS.

Desarrollado primera vez por Hwang y Yoon (1981), es uno de los métodos más conocidos de Toma de Decisiones de Criterios Múltiples (MCDM) para identificar una solución a partir de un conjunto finito de puntos. TOPSIS es una técnica de ponderación lineal y es la abreviatura de Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution.

El principio básico es que la alternativa elegida debe tener la menor distancia a la solución ideal positiva y la mayor distancia a la solución ideal negativa. Una solución ideal se define como una colección de puntuaciones o valores en todos los atributos considerados en la decisión, pudiendo suceder en algunos casos que tal solución sea inalcanzable.

Vinodh y Swarnakar, emplean el método TOPSIS para seleccionar los proyectos Lean Six Sigma (LSS) óptimos para una organización de fabricación de componentes de automoción. Kabirifar y Mojtahedi, utilizan TOPSIS para clasificar las actividades críticas de Ingeniería, Adquisiciones y Construcción (EPC) en proyectos de construcción residencial a gran escala en Irán.

Los ejemplos mencionados muestran la efectividad y viabilidad del método TOPSIS para seleccionar indicadores críticos. A pesar de esta importancia, sin embargo, no se presta la atención adecuada en el campo de la construcción ajustada al uso de técnicas MCDM como el método TOPSIS para elegir las mejores soluciones. El procedimiento del concepto TOPSIS implica los siguientes pasos:

2.6.1 Construcción de la matriz de decisiones.

Primeramente, se define la meta que se quiere alcanzar mediante las herramientas multicriterio seleccionadas, la cual es seleccionar el mejor proyecto de potabilización de agua respecto a los criterios seleccionados.

Luego, se recolecta toda la información de los criterios para iniciar con la construcción de la matriz de decisiones. Dado un conjunto de alternativas $V = \{ V_i \mid i = 1, 2, \dots, m \}$ y un conjunto de criterios $C = \{ C_j \mid j = 1, 2, \dots, n \}$, donde $X =$

$\{ x_{ij} \mid i = 1, 2, \dots, m ; j = 1, 2, \dots, n \}$ representa la matriz de decisión y x_{ij} es el valor de la i -ésima alternativa con respecto al j -ésimo indicador. En la tabla 15 se evidencia toda la información recolectada de las alternativas evaluadas referente a cada criterio y en la parte inferior los pesos de cada criterio que se encontraron mediante la metodología AHP.

Tabla 15 Matriz de decisión.

Proyecto	C1 (%)	C2 (Voltios)	C3 (%)	C4 (\$)	C5 (\$/mes)	C6 (días)
I	100%	220	100%	\$20.000.000	\$10.000	1
II	99%	110	100%	\$38.298.855,28	\$300.000	1
III	96%	120	100%	\$5.890.000	\$54.000	1
IV	65%	110	100%	\$29.777.140	\$358.333,33	1
V	95%	110	100%	\$12.673.500	\$258.333,33	1
Peso	10,15%	15,07%	29,18%	19,89%	19,47%	6,23%

Fuente: Los autores

2.6.2 Cálculo de calificaciones agregadas para alternativas y criterios.

En este punto, se deben agrupar todas las opiniones de los expertos y lograr la matriz $Z = [a_{ij}]$ que es una calificación promedio de otras opciones en función de los requisitos, el promedio de las puntuaciones de cada encuestado se calcula utilizando la ecuación 1. Este paso se realizó en la metodología AHP.

$$(16) \quad a_{ij} = \frac{1}{k} \sum_{k=1}^k x_{ij}^k$$

2.6.3 Normalización de la matriz de decisiones.

Para evitar el efecto de la dimensión índice y su variación de rango sobre los resultados de la evaluación, se requiere la normalización de la matriz original para certificar que todos los atributos están en el mismo formato y equivalentes. Por lo tanto, los valores normalizados se pueden calcular usando la ecuación 2. Así, obtenemos la siguiente información representada en la tabla 16

$$(17) \quad r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m a_{ij}^2}} \quad (i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n)$$

Tabla 16 Matriz normalizada

Proyecto	C1 (%)	C2 (Voltios)	C3 (%)	C4 (\$)	C5 (\$/mes)	C6 (días)
I	0,49	0,60	0,45	0,37	0,02	0,45
II	0,48	0,30	0,45	0,71	0,56	0,45
III	0,47	0,60	0,45	0,11	0,10	0,45
IV	0,32	0,30	0,45	0,55	0,67	0,45
V	0,46	0,30	0,45	0,23	0,48	0,45
Norma Vector	2,06	364,83	2,24	54302763,14	536800,60	2,24

Fuente: Los autores

2.6.4 Determinación de la matriz de decisión normalizada ponderada.

En esta sección, un conjunto de ponderaciones de n indicadores $W = \{ w_j \mid j = 1, 2, \dots, n \}$, donde $w_j > 0$ y $\sum w_j = 1$, se aplica para calcular la matriz de decisión normalizada ponderada mediante la 18 obteniendo una nueva matriz como se evidencia en la tabla 17.

$$(18) \quad v_{ij} = w_j r_{ij}$$

Tabla 17 Matriz normalizada ponderada

Proyecto	C1 (%)	C2 (Voltios)	C3 (%)	C4 (\$)	C5 (\$/mes)	C6 (días)
I	0,05	0,11	0,13	0,07	0,00	0,03
II	0,05	0,05	0,13	0,14	0,11	0,03
III	0,05	0,06	0,13	0,02	0,02	0,03
IV	0,03	0,05	0,13	0,11	0,13	0,03
V	0,05	0,05	0,13	0,05	0,09	0,03

Fuente: Los autores

2.6.5 Determinación de la solución ideal (positiva y negativa).

Consiste en los valores óptimos de cada atributo de la matriz de decisión normalizada ponderada, mientras que la solución ideal negativa tiene el peor valor de cada atributo de la matriz de decisión normalizada ponderada calculada de la siguiente manera:

$$(19) \quad A^- = \{v_1^-, \dots, v_j^-, \dots, v_n^-\} = \{(\min_i v_{ij} \mid j \in J_1), (\max_i v_{ij} \mid j \in J_2) \mid 1 \dots, m\}$$

$$(20) \quad A^+ = \{v_1^+, \dots, v_j^+, \dots, v_n^+\} = \{(\max_i v_{ij} \mid j \in J_1), (\min_i v_{ij} \mid j \in J_2) \mid 1 \dots, m\}$$

Donde, J 1 es el conjunto de criterios de beneficios y J 2 es el conjunto de criterios de costos. Aplicando estas ecuaciones obtenemos los resultados de la tabla 18:

Tabla 18 Solución ideal positiva y negativa

	C1 (%)	C2 (Voltios)	C3 (%)	C4 (\$)	C5 (\$/mes)	C6 (Días)
Alternativa Ideal	0,05	0,05	0,13	0,02	0,00	0,03
Alternativa Anti-ideal	0,03	0,09	0,13	0,14	0,13	0,03

Fuente: Los autores

2.6.6 Cálculo del valor de separación.

Posteriormente, el valor de separación se obtiene calculando la distancia entre cada alternativa, así como las soluciones ideales positivas y negativas, utilizando respectivamente las ecuaciones (21) y (22).

$$(21) \quad D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2} \quad i = 1 \dots, m.$$

$$(22) \quad D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad i = 1 \dots, m.$$

Los resultados obtenidos se evidencian en la tabla 19:

Tabla 19 Valor de separación

Proyecto	Distancia Alternativa Ideal	Distancia Alternativa Anti-ideal
I	0,07	0,14
II	0,16	0,06
III	0,02	0,17
IV	0,15	0,06
V	0,09	0,11

Fuente: Los autores

2.6.7 Determinación de los coeficientes de proximidad y clasificación de las alternativas.

Los coeficientes de proximidad de cada alternativa se calculan mediante la ecuación (23) donde el proyecto I obtuvo una proximidad del 0,68, el proyecto II 0,25, el proyecto III 8,78, el proyecto IV 0,26 y el proyecto V 0,54.

$$(23) \quad CC_i = \frac{D_i^-}{D_i^+ + D_i^-}$$

Donde $0 < CC_i \leq 1$, $i = 1$

Finalmente, se procede a seleccionar la mejor opción, en este punto las alternativas se clasifican en función de los coeficientes de cercanía, en los que la mejor alternativa es la que tiene el valor más alto. Teniendo en cuenta lo anterior, se ordenan las alternativas de mayor a menor como se muestra en la tabla 20, con un puntaje de 0,91; la mejor propuesta es el proyecto III el cual hace referencia a AQUAFILTROSCOL y el más alejado a ser el proyecto ideal, es la alternativa II: EDUARDOÑO con puntaje de 0,27.

Tabla 20 Clasificación de alternativas

Orden de Prioridades	Proyecto
0,91	III
0,66	I
0,55	V
0,28	IV
0,27	II

Fuente: Los autores

Según el análisis realizado mediante la aplicación del método AHP-TOPSIS, por medio de la Figura H, se muestra que la mejor alternativa para el aprovechamiento de agua lluvia en el Campus universitario Las Balsas de Zarzal, es la alternativa III, denominada como AQUAFILTROSCOL, considerando los macro criterios ambientales, económicos y técnicos.

3 EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA MEJORA PROPUESTA Y TRATAMIENTO DE POTABILIZACIÓN ELEGIDO.

La evaluación económica constituye la parte final de toda una secuencia de análisis de factibilidad en los proyectos de inversión, en la cual, una vez concentrada toda la información generada en los capítulos anteriores, se aplican métodos de evaluación económica que contemplan el valor del dinero a través del tiempo, con la finalidad de medir la eficiencia de la inversión total involucrada y su probable rendimiento durante su vida útil.

El proyecto se resume en la sumatoria de costos iniciales de material, mano de obra, implementación y un porcentaje del 5% de la inversión en casi de imprevistos. Los datos establecidos en la cotización de materiales y mano de obra se realizaron a través de una constructora, cuya identidad es anónima debido a sus políticas internas de revelación de datos. Los costos relacionados a los materiales fueron cotizados con la ferretería Constructor (2021) y los costos de implementación, se establecieron con la empresa proveedor del tratamiento. En el Anexo 13 se encuentra el listado detallado, con IVA incluido, de las cotizaciones presentadas en la tabla 21:

Tabla 21 Costo total de aprovechamiento

COSTO TOTAL DE MATERIAL	\$ 25.644.870
COSTO TOTAL DE MANO DE OBRA	\$ 16.399.984
COSTO TOTAL DE IMPLEMENTACIÓN DE TRATAMIENTO	\$ 6.190.000
IMPREVISTOS	\$ 2.411.743
COSTO TOTAL DE SISTEMA DE APROVECHAMIENTO	\$ 50.646.597

Fuente: Los autores.

En relación con los costos de inversión inicial presupuestados para el proyecto, se estableció la necesidad de presentar una evaluación financiera del proyecto para definir su viabilidad, a través de la aplicación de los conceptos de Valor Presente Neto, Tasa Interna de Retorno Y Relación Beneficio-Costo. En consecuencia, se definieron los requerimientos necesarios para realizar dichos cálculos a continuación.

Beneficios. El valor correspondiente al ahorro en volumen de agua que se deja de pagar al acueducto anualmente por el suministro de agua en el campus universitario es de \$22.860.063,55.

El ministerio de ambiente y desarrollo sostenible (2010) ha certificado incentivos tributarios en exclusión del IVA (19%), y deducción de la renta líquida a proyectos que implementen los Programas para el uso eficiente y ahorro del agua que trata la Ley 373 de 1997. Este beneficio se enmarca en el Estatuto Tributario que establece el derecho de las personas jurídicas a descontar de su impuesto sobre la renta el 25% de las inversiones en control, conservación y mejoramiento ambiental, que se hayan realizado en el respectivo año gravable.

Egresos. Este es el valor correspondiente a los gastos necesarios relacionados con impuestos tributarios, operación y mantenimiento de la infraestructura construida (tanque, planta de tratamiento y redes de aducción y conducción).

Tabla 22 Costos de mantenimiento y operación

COSTO DE MANTENIMIENTO	6 MESES	12 MESES
MEMBRANA DE POLIPROPILENO	\$ 31.667	\$ 63.333
MEMBRANA DE CARBÓN ACTIVADO GRANULAR	\$ 31.667	\$ 63.333
MEMBRANA DE CARBÓN ACTIVADO EN BLOQUE	\$ 31.667	\$ 63.333
MENBRANA DE OSMOSIS INVERSA HIFLUX	\$ 180.000	\$ 360.000
LUZ ULTRAVIOLETA	\$ 49.500	\$ 99.000
COSTO TOTAL DE MANTENIMIENTO	\$ 324.500	\$ 649.000
COSTO DE OPERACIÓN	6 MESES	12 MESES
ENERGÍA REQUERIDA POR TRATAMIENTO	\$ 435.108	\$ 888.853
ENERGÍA DE BOMBEO PARA HIDROFLO	\$ 1.932.085	\$ 3.946.930
COSTO TOTAL DE OPERACIÓN	\$ 2.367.193	\$ 4.835.782
COSTO ANUAL DE MTT/OPERACIÓN	\$ 5.484.782	

Fuente: Los autores

Para determinar los costos de prestación de servicios, se tomó como referencia el Ministerio de Trabajo (2021). Sin embargo, el salario actual del operario no se modifica con la implantación del proyecto dado que es encargado del cuarto de máquinas en general.

Tabla 23 Salario mínimo en Colombia

Concepto	Valor
Salario Mensual	+ \$ 908,526
Subsidio de transporte	+ \$ 106,454
Prima (1 salario anual + transporte)	+ \$ 84,582
Cesantías (1 salario anual)	+ \$ 84,582
Intereses sobre cesantías (12% cesantías año anterior)	+ \$ 10,150
Aporte Seguridad Social - Salud (8.5%)	+ \$ 77,225
Aporte Seguridad Social - Pensión (12%)	+ \$ 109,023
Aporte Seguridad Social - ARL (Riesgo V - 6.96%)	+ \$ 63,233
Parafiscales - Caja de compensación (4%)	+ \$ 36,341
Parafiscales - ICBF (3%)	+ \$ 27,256
Parafiscales - Sena (2%)	+ \$ 18,171
Total Pagado	= \$ 1,525,542

Fuente: Mintrabajo (2021).

El salario mínimo en Colombia se reajusta a final de año con efecto a partir del 1ero de enero del año siguiente. El incremento del salario mínimo se discute en el último mes del año entre el Gobierno, los gremios de la producción y los sindicatos, donde cada uno presenta un incremento porcentual el cual es debatido intensamente por las partes para lograr un acuerdo. En caso de no llegar a uno, el Gobierno puede decretar el incremento que considere

conveniente para la economía. Salario Mínimo (2021). La tasa de Crecimiento nominal de los últimos 38 años no ha sido constante, por lo tanto, se creó un pronóstico para los próximos 20 años. De la misma forma se realizó el pronóstico del IPC (Índice de Precios al Consumidor) futuro teniendo en cuenta los datos históricos arrojados por el DANE (2021).

El cálculo de los costos energéticos es calculado mediante el consumo en kW/h del motor de cada equipo, multiplicado por el costo por kW/h establecidos por Celsia (2021), por el número de equipos. Se tiene en cuenta el aumento en la tasa o tarifa anual promedio de 0,36% en los costos del servicio.

Tabla 24 Costos de energía requerida

COSTO/KWH		\$ 599,52	% VARIABLE DE TARIFAS ENERGÍA	
	Kw/h	COSTO 24H	MENSUAL	ANUAL
TRATAMIENTO	0,336	\$ 4.834,53	0,36%	4,28%
BOMBA 3 HP	2,238	\$ 32.201,42		
BOMBA 2 HP	1,492	\$ 21.467,61		

Fuente: Celsia 2021

Es necesario resaltar que los costos de operación, mantenimiento y consumo de energía son costos activos en el sistema de bombeo de agua potable actual, por ende, no serán incluidos en los costos relacionados al proyecto propuesto. A excepción de los costos de operación de la bomba de 2 HP, dado que, dentro de la propuesta, esta bomba sí se incluye en el funcionamiento.

El cálculo de los gastos de acueducto y alcantarillado están dado por el costo/m³, más el cargo fijo y las tarifas cambiantes que aumentan aproximadamente en un 0,3% y -0,43% respectivamente de manera mensual. Acuavalle (2020).

Tabla 25 Costos de acueducto y alcantarillado

% VARIABLE DE TARIFAS DE AGUA POTABLE	MENSUAL	ANUAL
ACUEDUCTO	0,30%	3,58%
ALCANTARILLADO	-0,43%	-5,14%
CARGO FIJO ACUEDUCTO	\$ 8.962,47	\$ 107.549,64
CARGO FIJO ALCANTARILLADO	\$ 5.125,95	\$ 61.511,40

Fuente: Acuavalle (2020).

Impuestos. Según el artículo 23 del estatuto tributario modificado por la ley 1819 de 2016, la Universidad del Valle se encuentra exenta de la declaración de renta, como también del impuesto de timbre según el Art. 532 del Estatuto Tributario modificado por la Ley 223 de 1995, y del impuesto de IVA de acuerdo con el Art. 92 de la Ley 30 de 1992 (2015).

Pólizas de seguro. A quienes desarrollan la actividad constructiva, le resultan aplicables una serie de normas especiales que van desde el artículo 2060 del Código Civil Colombiano, el artículo 104 de la Ley 1480 de 2011 (Estatuto del

Consumidor) y la más reciente Ley 1796 del 13 de Julio de 2016 conocida como “ley de vivienda segura”. Estas normas en general van enfocadas a establecer hasta dónde va la responsabilidad del constructor y su obligación de responder por los posibles perjuicios que se ocasionen a los compradores o beneficiarios de los proyectos construidos. La República. (2018).

Los contratos de seguros son convenios pactados entre dos partes, es decir el asegurador es responsable de indemnizar un daño ocurrido a la otra parte, en este caso al tomador; siempre y cuando se confirme la contingencia prevista en el contrato, de acuerdo con el pago del precio al cual se menciona como prima. Tenelema Villamar, C. P. (2018).

La póliza Todo Riesgo Construcción es una póliza multirriesgo basada en la estructura de todo riesgo nombrado con exclusiones, especialmente diseñada para amparar daños en construcciones de obras civiles, carreteras, túneles, soluciones de vivienda, y en general todo tipo de obra civil que sea consecuencia del inicio de una construcción y que se encuentre sometida a riesgos inherentes de su operación y de la naturaleza. Lombana Silva, F. (2015).

De acuerdo con lo anterior, se realizó una cotización de índole confidencial con una organización de seguros nacional (Dado a las políticas internas, la organización solicitó confidencialidad absoluta de los datos utilizados en este proyecto). En la cotización se especifican los costos de dos pólizas de seguro mencionadas anteriormente.

Depreciación. La depreciación trabaja de manera directa con la vida útil, puesto que finalmente lo que se busca revelar al depreciar los activos, es el momento en que queden obsoletos. La depreciación se calcula dividiendo el valor del producto por su vida útil, y así se obtiene el valor que perdería el producto cada año. Contador, A. (2021).

El valor que el proyecto pierde cada año es de \$ 2.532.329,84.

3.1 TASA DE DESCUENTO EN PROYECTOS DE IMPACTO AMBIENTAL.

La Tasa Social de Descuento utilizada en la evaluación de proyectos que afectan el medio ambiente y los recursos naturales es un tema crucial en la toma de decisiones económicas y, en particular, en la toma de decisiones de política ambiental. Diaz, G. H., et al (2018).

Weitzman (2001) realizó una encuesta a 2160 economistas destacados (de los 2800 a quienes inicialmente se les envió el cuestionario). Básicamente, la encuesta solicitaba a los individuos que dieran un valor a la tasa que se debía utilizar para descontar los beneficios y costos esperados de proyectos cuyo objetivo era mitigar los impactos del cambio climático global. Los resultados básicos de la aplicación de Weitzman (2001) muestran una media de 3,96%. En Colombia, la tasa de descuento actualmente utilizada por el Departamento Nacional de Planeación (DPN) para el análisis costo–beneficio de proyectos

públicos en Colombia es de 12%. Sin embargo, en el estudio realizado por Diaz, G. H., et al (2018); Director de Estudios Económicos y consultores del DPN, se calculó una Tasa Social de Descuento de 3,1% para proyectos ambientales.

Teniendo en cuenta la revisión bibliográfica, se optó por usar la tasa de descuento establecida por los consultores del Departamento Nacional de Planeación para proyectos de índole ambiental.

Con los datos anteriores, se desarrolló el flujo de fondos para los próximos 20 años de vida útil del proyecto, en el Anexo 14 se observa la proyección del año 0 al año 10 (Por motivos de espacio).

3.2 VALOR PRESENTE NETO (VPN).

El cálculo del VPN se ejecutó por medio de la ecuación 24 teniendo en cuenta los datos arrojados por el flujo de fondos:

$$(24) \quad VPN = I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{FC}{(1+i)^t}$$

Donde I_0 representa la inversión de capital, Flujo de caja o fondos (FC) se refiere a la diferencia anual entre egresos e ingresos, i es la Tasa de Interés de Oportunidad (TIO) o Tasa de descuento del proyecto y n es el número de años de vigencia del proyecto.

El valor presente neto fue de \$88.407.867,93. El valor es mayor a cero, por lo tanto, el proyecto es viable. Córdoba Padilla, M. (2011).

3.3 TASA INTERNA DE RETORNO (TIR).

El cálculo de la TIR se ejecuta por medio de la ecuación 25:

$$(25) \quad TIR = i_1 + \left[(i_2 - i_1) \frac{(VPN_1)}{|VPN_1| + |VPN_2|} \right]$$

Siendo i : Tasa de descuento o costo de oportunidad.

La tasa interna de retorno fue del 15%, según el artículo publicado por CreceNegocios (2019), si la TIR es mayor a la tasa de descuento aplicada al costo de inversión, el proyecto es viable.

3.4 RELACIÓN BENEFICIO COSTO (B/C).

Por último, se establece la relación beneficio-costos para la propuesta detallada en el proyecto. Esta relaciona el beneficio del proyecto, identificado como el VPN, y los costos requeridos de inversión en el tratamiento de la propuesta y se calcula por medio de la ecuación 26:

$$(26) \quad \text{Relación (B/C)} = \frac{\text{Beneficios}}{\text{Costos}}$$

Si el valor resultante es mayor que 1 el proyecto es rentable, pero si es igual o menor que 1 el proyecto no es rentable y, por tanto, no es viable ya que significa que los beneficios serán iguales o menores que los costos de inversión o costos totales. CreceNegocios (2019).

La relación beneficio/costo obtenido fue de 2,75; por lo tanto, el proyecto es viable.

Recuperación de capital fue calculado teniendo en cuenta el producto entre la diferencia de los flujos netos con el valor anual equivalente.

A principios del año 5 el proyecto se tornaría factible. De esta forma, los anteriores indicadores de bondad financiera demostraron que el proyecto es conveniente de acuerdo con el VPN, viable según la TIR y provechoso según la relación beneficio-costo.

3.5 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

El análisis de sensibilidad determina la elasticidad de la VAN de un proyecto respecto a las variaciones de los parámetros críticos del mismo. Tiene como finalidad evaluar los posibles efectos o consecuencias en la viabilidad del proyecto, estas consecuencias pueden ser positivas o negativas. Arenaza, H. E. M. (2002).

Para el análisis de sensibilidad se utilizaron los beneficios y costos totales, los cuales se sometieron a escenarios cambiantes simulados multiplicándolos por una tasa de variación anual con el fin de determinar la sensibilidad del VPN. En la tabla 26 se encuentran las tasas variables anuales para cada ítem, en este escenario se utilizó una disminución del 0,02% anual para los beneficios, y para los costos se utilizó un aumento de 0,05% anual.

Tabla 26 Tasas de variación.

ESCENARIOS CAMBIANTES	
Variación Beneficios	-0,02%
Variación Costos	0,05%

Fuente: Los autores.

En la tabla 27 se observan los resultados obtenidos. Se puede percibir que el VPN de este proyecto es muy susceptible a los pequeños cambios a corto plazo, tanto en costos como en beneficios, arrojando resultados positivos como negativos en el mismo.

Tabla 27 Análisis de sensibilidad a 10 años

SEN	\$ 28.851.688,82	\$ 23.679.452,29	\$ 24.527.589,42	\$ 25.466.426,53	\$ 26.316.752,84	\$ 27.259.696,69	\$ 28.236.426,72	\$ 29.248.153,52
COST	\$ 17.163.042,84	\$ 19.297.070,21	\$ 19.636.412,51	\$ 20.710.652,37	\$ 20.337.810,24	\$ 20.760.312,87	\$ 21.631.346,77	\$ 21.449.104,68
Utilidad	\$ 11.688.645,98	\$ 4.381.478,07	\$ 4.891.176,91	\$ 4.695.773,97	\$ 5.978,942,60	\$ 6.559.383,82	\$ 6.595.079,94	\$ 7.799.048,83
VAN	\$ 88.407.867,92							
SEN	\$ 28.845.918,51	\$ 23.674.416,46	\$ 24.522.683,91	\$ 25.461.345,55	\$ 26.311.489,51	\$ 27.254.244,75	\$ 28.230.779,43	\$ 29.242.363,89
COST	\$ 17.172.224,68	\$ 19.267.385,65	\$ 19.646.236,72	\$ 20.721.687,89	\$ 20.348.079,20	\$ 20.796.863,12	\$ 21.640.172,45	\$ 21.459.829,24
Utilidad	\$ 11.673.693,83	\$ 4.367.090,40	\$ 4.876.453,19	\$ 4.680.337,36	\$ 5.963.410,31	\$ 6.543.381,63	\$ 6.590.606,98	\$ 7.782.534,65
VAN	\$ 88.148.696,09							
		1	2	3	4	5	6	7
	\$ 88.148.696,09	-0,02%	-0,04%	-0,06%	-0,08%	-0,10%	-0,12%	-0,14%
1	0,05%	\$ 88.148.696,09	\$ 88.054.782,08	\$ 87.679.126,00	\$ 85.968.673,64	\$ 76.972.927,72	\$ 20.636.515,92	\$ 365.054.049,20
2	0,10%	\$ 340.707.117,394,57	\$ 681.532.212.141,44	#####	#####	\$ 10.285.335.292.271,32	#####	#####

Fuente: Los autores.

Los resultados en verde, quieren decir que el VPN sigue siendo viable para el proyecto después de incluir las variaciones anteriormente mencionadas. El proyecto seguiría siendo viable por los próximos 6 años siempre y cuando la tasa de costos anual no aumente más de 0,09% y los beneficios no decrezcan más del 0,12%, en caso de sobrepasar estos valores, el VPN empezaría a dar negativo (en rojo), por lo tanto, ya no sería viable. Cabe resaltar que este análisis se realizó con dos tasas hipotéticas para el escenario actual.

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El agua lluvia es un recurso gratuito que suele desperdiciarse comúnmente a pesar de que su calidad fisicoquímica es alta, comparada con otras fuentes hídricas. Además de eso, su recolección disminuye el consumo de agua potable y los costos de alcantarillado provocados por el caudal de agua de escorrentía. La captación de agua lluvia es un método simple, ya que solo consiste en hallar las áreas de captación, definir el medio de transporte, el lugar de almacenamiento y el proceso de tratamiento, en caso de potabilizar.

Los niveles de precipitación en el municipio de Zarzal son muy favorables para la captación de agua lluvia en las temporadas húmedas del año, estas son dos: La primera temporada inicia en marzo y culmina a principios de junio, la segunda, inicia en septiembre y culmina a principios de diciembre, en total, son aproximadamente 7 meses de lluvias constantes. En los 5 meses restantes, también hay presencia de lluvias, pero con baja intensidad, siendo enero y agosto, los meses más secos del año.

El sistema de recolección actual del campus funciona como método anti-inundación, con el fin de bombear el agua lluvia retenida dentro del campus, hacia la red de alcantarillado, canales perimetrales y jardinería. Los resultados obtenidos en el análisis del agua de los techos revelaron que los niveles de turbidez, coliformes, E-coli y bacterias mesófilas aerobias, superan los establecidos por la norma y el Ph está por debajo de ella. Dado lo anterior, se descartó la inclusión del agua de escorrentía en la propuesta de mejora debido a la gran cantidad de turbiedad y sólidos suspendidos provocados por el estado de los canales perimetrales. Por lo tanto, se optó por tratar solo el agua de los techos, minimizando los costos de tratamiento y mantenimiento de estos.

Según los datos proporcionados por la CVC (2018), el promedio de precipitación mensual en el municipio de Zarzal Valle es de 142,56 m3, que junto con el área de los techos (2369,93 m2) se convierte en un indicador positivo para lograr un aprovechamiento eficiente del recurso de aproximadamente 253,39 m3. Teniendo en cuenta los valores de la demanda, se tendría un potencial ahorro del 106% de agua potable.

La propuesta de mejora se compone del área de captación de los techos de gradería, aulas y cafetería, tubería PVC como un medio de transporte con mayor permeabilidad e inocuidad para asegurar la calidad del agua, seguido de la construcción de dos cajas de registro para regular la presión, un tanque interceptor de primeras aguas y un tanque de almacenamiento de agua cruda, de allí el agua pasa por la planta de tratamiento para después dirigirse al tanque de almacenamiento de agua potable y seguidamente, ser distribuida por el sistema de bombeo actual.

Para el agua de escorrentía que queda fuera del proyecto, se recomienda agilizar la culminación del sistema de riego, el cual sería útil en temporadas secas. De

igual forma, no se descarta la idea de utilizar parte del agua de escorrentía en proyectos futuros para obtener un mayor aprovechamiento de ella.

El análisis del material bibliográfico determinó que la metodología a utilizar sería AHP-TOPSIS, dado que son las herramientas que se han utilizado con mayor frecuencia en proyectos de la misma índole. También se determinaron los macro criterios a evaluar, siendo estos, Ambientales (la utilización de agua, la energía requerida, eficiencia de remoción), Económicos (costo inicial de tratamiento, costos de operación/mantenimiento) y Técnicos (complejidad de implementación).

Las alternativas encontradas fueron 5, PTALL Ingeaguas, Aquafiltroscol, Eduardoño, Argeza y Ambiente y soluciones integrales (ASI). Para la ponderación de los criterios que evaluarían cada alternativa se tomaron en cuenta la opinión de 9 expertos, siendo evaluada su formación académica, experiencia laboral e intereses, posteriormente se seleccionó AQUAFILTROSCOL, considerando los macro criterios mencionados anteriormente.

Se recomienda realizar una prueba piloto o simulación del sistema propuesto, de esta manera, detectar posibles riesgos y fallas en el funcionamiento del mismo.

En el análisis económico se determinó un costo total de inversión de \$50.646.597, sin embargo, se obtendría un ahorro anual de \$22.860.063,55 en consumo de agua potable. La universidad del Valle por ser entidad pública queda exenta de IVA y declaración de renta, siendo esto un beneficio en el flujo de fondos realizado más el ahorro potencial. Se tomaron como egresos los costos de operación y mantenimiento, pólizas de seguro, las tasas de descuento, IPC y TCN, costo de posesión y depreciación.

Se determinaron los indicadores de VPN, TIR y B/C, siendo \$88.407.867,93; 15% y 2,75 respectivamente. En este punto se recomienda asesoría profesional o la implementación de un software que permita medir los riesgos financieros a los que podría enfrentarse el proyecto.

Finalmente, se realizó un análisis de sensibilidad, ya que es una técnica de las más empleadas con el fin de determinar el riesgo al que está sometida la VAN, creando diferentes escenarios en los cuales se determinó que el proyecto es muy susceptible a los cambios, sin embargo, al ser un proyecto ambiental, sin ánimo de lucro, los factores más riesgosos son los incrementos en los costos de operación y mantenimiento, o bien, la disminución de la oferta de agua lluvia. el VPN sigue siendo viable para el proyecto después de incluir las variaciones anteriormente mencionadas.

En conclusión, el proyecto se tornaría factible a principios del año 5 y tendría una duración efectiva de 20 años. De esta forma, los anteriores indicadores de bondad financiera demostraron que el proyecto es conveniente de acuerdo con el VPN, viable según la TIR y provechoso según la relación beneficio-costos.

5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdulla, F. A., & Al-Shareef, A. W. (2009). Roof rainwater harvesting systems for household water supply in Jordan. *Desalination*, 243(1-3), 195-207.
- Acevedo Avella, C. C., Bermejo Bermejo, L. D., & Rodríguez León, J. L. (2017). Evaluar la viabilidad de un sistema de aprovechamiento y tratamiento de agua lluvia (MITRAIN), en la ciudad de Villavicencio mediante la caracterización del agua durante el año 2017.
- Alcaldía Mayor de Bogotá, Decreto 1090 de 2018. (28 de junio de 2018), Nivel Nacional Bogotá D.E
- Alcaldía Mayor de Bogotá, Decreto 475 de 2015. (17 de marzo de 2015), Nivel Nacional Bogotá D.E
- Alcaldía Mayor de Bogotá, Decreto 616 de 1902. (9 de abril de 1902), Nivel Nacional Bogotá D.E.
- Alcaldía Mayor de Bogotá, Ley 373 de 1997. (6 de junio de 1997), Nivel Nacional Bogotá D.E.
- Alcaldía Mayor de Bogotá, Ley 9 de 1979. (24 de enero de 1979), Nivel Nacional Bogotá D.E.
- Ambiente y Soluciones Integrales. (2019, 30 octubre). Ambiente y Soluciones Integrales. Tratamiento de Aguas. <https://tratamientodeaguas.com.co/ambiente-y-soluciones-integrales/>
- ANDRADE, J. J. D. O. (2005). Vida útil das estruturas de concreto. *Concreto: Ensino, Pesquisas e Realizações*. Geraldo Isaia (Ed.). IBRACON, São Paulo, 923-951.
- Aquafiltroscol.(2020, 13 enero). Filtros Purificadores de Agua en Colombia <https://aquafiltroscol.com/?orderby=price-desc>
- Arango Bernal, J. I (2017). Calidad del Agua y estado de los sistemas de Tratamiento de Aguas
- Arango Garcés, Á. A. (2012). Selección de los agentes reductores más eficientes para el tratamiento de aguas residuales industriales en una PTAR de cromado utilizando la metodología ANP y AHP (Master's thesis, Universidad de La Sabana).
- Arboleda Montaña, N. (2014). Estudio de alternativas tecnológicas para el tratamiento básico del agua lluvia de uso doméstico en el Consejo Comunitario de la comunidad negra de Los Lagos, Buenaventura.

- Arenaza, H. E. M. (2002). Análisis del riesgo y decisiones de inversión: El análisis de sensibilidad. *Gestión en el Tercer Milenio*, 3(6), 39-44.
- Argeza. (s. f.). Tratamiento de aguas. Recuperado 25 de octubre de 2020, de <https://argeza.com.co/>
- Arroyo-Zambrano, T. I., Cerutti, O. M., & Gutiérrez, A. F. (2016). Adopción e impactos de los sistemas de captación de agua de lluvia. *Unidad de Ecotecnologías, Morelia*.
- Baide, J. (2001). *Prueba de la captación del filtro de cerámica impregnado con plata coloidal en el barrio El Ocotal de Guinope*.
- Ballestero, E. Compromise programming: A utility-based linear-quadratic composite metric from the trade-off between achievement and balanced (non-corner) solutions. *Eur. J. Oper. Res.* 2007, 182, 1369–1382.
- Bana e Costa, C. A.; Chagas, M. P. A career choice problem: An example of how to use MACBETH to build a quantitative value model based on qualitative value judgments. *Eur. J. Oper. Res.* 2004, 153, 323–331.
- Behzadian, M.; Kazemzadeh, R. B.; Albadvi, A.; Aghdasi, M. PROMETHEE: A comprehensive literature review on methodologies and applications. *Eur. J. Oper. Res.* 2010, 200, 198–215.
- BENÍTEZ, C., ARIAS y W., QUIROZ, J. (1980): Manual de conservación de suelos y aguas. Ministerio de Agricultura y Alimentación. Perú.
- Berdonces, J. L. (2008). La problemática del tratamiento del agua potable. *Medicina naturista*, 2(2), 22-28.
- Burgos, D. (2006). Organización Panamericana de la Salud: Filtro de velas. Bogotá: Manual de construcción y mantenimiento.
- C. L.; Yoon, K. Multiple attribute decision making: Methods and Applications; 1981.
- Cabrera, J. M. (2020, 20 julio). *Acuavalle S.A E.S.P - 2. Información de Interés*. Acuavalle S.A E.S.P. <https://acuavalle.gov.co/index.php/31-institucional/transparencia-y-acceso-a-la-informacion/575-2-informacion-de-interes>
- Calvés Hernández, S. & Calderón Milian, L. [1998]: Técnicas de trabajo creativo en grupos. Grupo de Estudio de Técnicas de Dirección. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Santa Clara, Cuba

- Cárdenas, J. L. H., & Arango, Y. C. (2016). *Gestión ambiental universitaria a partir del aprovechamiento de agua pluvial. Caso de estudio, Universidad Tecnológica de Pereira* (Doctoral dissertation, Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Ciencias Ambientales. Administración Ambiental).
- Cárdenas, J. L. H., & Arango, Y. C. (2016). *Gestión ambiental universitaria a partir del aprovechamiento de agua pluvial. Caso de estudio, Universidad Tecnológica de Pereira* (Doctoral dissertation, Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Ciencias Ambientales. Administración Ambiental).
- CHOCAT, B. Les préoccupations sanitaires liées aux eaux pluviales et à l'assainissement. «Eau et Santé», Eaux pluviales et assainissement: nouvelles préoccupations sanitaires. Lyon, 2006.
- Colombia, G. D. Ley 373 de 1997. *Uso eficiente y ahorro del agua*.
- Combatir la escasez de agua. El desafío del Siglo XXI. ONU-Agua, FAO. 200
- Congreso de Colombia. (2016, 29 diciembre). *LEY 1819 DE 2016*. Sistema Unico de Información Normativa SUIN JURISCOL. <http://www.suin-juriscol.gov.co/viewDocument.asp?ruta=Leyes/30030265>
- Consejo Superior de la Universidad del Valle. Política Ambiental, Resolución No 009 – 2014. Recuperado de http://uvsalud.univalle.edu.co/pdf/politicas_institucionales/rcs_009_politica_ambiental
- Contador, A. (2021, 24 febrero). Depreciación: Qué es, cómo se calcula y cómo se contabiliza. Leegales. <https://dianhoy.com/depreciacion/>
- Corporación Autónoma Regional Del Valle Del Cauca, Zarzal. (2017). Recuperado de https://www.cvc.gov.co/cvc/boletin_hidroclimatico/lavieja/lavieja_quebradanueva/lavieja-quebradanueva-gra.pdf
- DANE, Departamento Administrativo Nacional De Estadística. Proyecciones de población 2018 - 2023 total municipal por área. Versión 2018.
- DANE. (2021, febrero). Visor IPC. Departamento Administrativo Nacional de Estadística. <https://sitios.dane.gov.co/ipc/visorIPC/#/>
- de Fontanería, C. C. (2004). Norma Técnica Colombiana: NTC 1500. Bogotá, DC.
- de Vargas, L. C. (2008). Filtración lenta como proceso de desinfección.

- Diaz, G. H., Galeano, G. P., & Cardenas, M. M. (2018). *Una estimación de la tasa de descuento para proyectos ambientales* (No. 016812). Departamento Nacional de Planeación.
- Editorial La República S.A.S. (2018, 28 enero). *ORO BANCO DE LA REPÚBLICA - Indicadores La República*. La República. <https://www.larepublica.co/indicadores-economicos/commodities/oro-banco-de-la-republica>
- Eduardoño. (s. f.). Ambiental | Productos y servicios para el cuidado ambiental | Eduardoño. Recuperado 12 de octubre de 2020, de <https://www.eduardono.com/ambiental/productos-y-servicios/ambiental?CATAdvancedSearch=13,29,14,-1,12,1&CATAdvancedSearch=13,29,14,-1,12,-1>
- Elke, M. Proyecto Experimental: Una Sistema para Captar Aguas Pluviales y filtración para La Universidad de ECOSUR.
- Fandiño Díaz, L. C., & Ospina Rengifo, K. D. (2020). Sistema de tratamiento de agua de lluvia para consumo humano en una institución educativa rural de Girardot Cundinamarca (Doctoral dissertation).
- Fewkes, A. (1999). The use of rainwater for WC flushing: the field testing of a collection system. *Building and environment*, 34(6), 765-772.
- Fletcher, T. D., Deletic, A., Mitchell, V. G., & Hatt, B. E. (2008). Reuse of Urban Runoff in Australia: A Review of Recent Advances and Remaining Challenges. *J. Environ. Qual.*, 37(5_Supplement), S-116-S-127
- Frascaroli, M. (2020, 6 junio). Facilidad de gestión y rápida implementación: claves en la elección de soluciones de servicio al cliente. Medium. <https://planetachatbot.com/facilidad-gestion-y-rapida-implementacion-claves-en-eleccion-soluciones-cliente-4d3103113097>
- Frechen, J. (2014). Aplicación de la tecnología de filtración por membranas como solución para el abastecimiento de agua potable en comunidades rurales de países en desarrollo. Lecciones aprendidas con el uso del filtro «Waterbackpack PAUL». *Revista Ambiental Agua, Aire Y Suelo*, 3-7.
- Garuti, C., & Escudey, M. Toma de Decisiones en Escenarios Complejos. Santiago de Chile: Editorial de la Universidad de Santiago de Chile.
- Ghisi, E., Bressan, D. L., & Martini, M. (2007). Rainwater tank capacity and potential for potable water savings by using rainwater in the residential sector of southeastern Brazil. *Building and Environment*, 42(4), 1654-1666.

- GOMEZ, J. R. S. (2012). *Introducción a la ingeniería industrial* (Vol. 25). México: Red Tercer Milenio.
- González, A. (2006). El Método Delphi y el procesamiento estadístico de los datos obtenidos de la consulta a los expertos.
- Görener, A. Comparing AHP and ANP: An application of strategic decisions making in a manufacturing company. *Int. J. Bus. Soc. Sci.* 2012, 3, 194–208.
- Govindan, K.; Jepsen, M. B. ELECTRE: A comprehensive literature review on Aplicación de la toma de decisión multi-criterio al diseño sostenible de puentes de hormigón - 90 - methodologies and applications. *Eur. J. Oper. Res.* 2016, 250, 1–29.
- Gualdrón Becerra, N. (2014). Captación de agua lluvia como alternativa comunitaria ante la escasez y la contaminación para el consumo humano y actividades agropecuarias en las veredas El Salado y La Aguada del municipio de Lebrija Santander, Colombia.
- HISTÓRICO EL PAÍS, Cali (2010). Recuperado de <http://historico.elpais.com.co/paisonline/notas/Marzo222010/Valle4.html>
- Hurtado, F. J (2019). Alcaldía municipal: Solicitudes, quejas y reclamos “UMATA”. Recuperado de https://zarzalvalledelcauca.micolombiadigital.gov.co/sites/zarzalvalledelcauca/content/files/000354/17668_informe-de-gestion-ambiental-umata-2019-3.pdf
- Hwang, C. and Yoon, K. 1981. Multiple Attribute Decision. Making: Methods and Applications, A State- of - the - Art Survey. Springer-Verlag, Berlin.
- Hwang, C. L., & Yoon, K. (1981). Methods for multiple attribute decision making. In Multiple attribute decision making (pp. 58-191). Springer, Berlin, Heidelberg.
- IDEAM (2019). Estudio Nacional del Agua 2018. Bogotá: Ideam: 452 pp
- IDEAM, Reporte de avance del Estudio Nacional del Agua. ENA 2018. Bogotá, D.C., 2018.
- *Índice de precios al consumidor (IPC)*. (2021, enero). Banco de la República (banco central de Colombia). <https://www.banrep.gov.co/es/estadisticas/indice-precios-consumidor-ipc>
- Informe sobre Desarrollo Humano 2006: Más allá de la escasez: Poder, pobreza y crisis mundial del agua. PNUD, 2006.
- Ingeaguas S.A.S. (2020, 27 abril). Plantas de tratamiento de agua lluvia para consumo. <https://www.ingeaguas.co/plantas-de-tratamiento-de-agua-lluvia/>

- Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales. IDEAM. Estudio nacional del agua. 2015
- K., A. (2019, 14 septiembre). ¿Qué son el valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR). CreceNegocios. <https://www.crecenegocios.com/van-y-tir/>
- K., A. (2019a, septiembre 14). ¿Qué es el análisis costo-beneficio? CreceNegocios. <https://www.crecenegocios.com/analisis-costo-beneficio/>
- Kinkade-Levario, H. (2007). *Design for water: rainwater harvesting, stormwater catchment, and alternate water reuse*. New society publishers.
- Ley 30 de 1992 - EVA - Función Pública. (2015, 1 diciembre). Función pública. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=253>
- Lombana Silva, F. Seguro de todo riesgo construcción una oportunidad para el mercado de seguros colombiano.
- López, A. C. (2017). Formulación del sistema de gestión ambiental SGA para la empresa Alkosto SA de Bogotá.
- Martell, C. M. D., & Reyes, L. G. (2018). Los costos de la calidad en la actividad de almacenaje. *Gestión Joven*, (18), 6.
- Materon Muñoz, H. (1997). Obras Hidraulicas Rurales. Santiago de Cali: Universidad del Valle.
- Melián-Navarro, A. (2016). Reutilización de agua para la agricultura y el medioambiente. *Agua y Territorio/Water and Landscape*, (8), 80-92.
- Minambiente. (2011). Recuperado el 06 de Marzo de 2021, de <http://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article?id=547:pl ant#tablas>
- Ministerio De Ambiente, Vivienda Y Desarrollo Territorial, Resolución 1508 de 2010. (04 de agosto de 2010), Bogotá D.E.
- Ministerio De La Protección Social Ministerio DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL, Resolución 2115 de 2007. (22 de junio de 2007), Bogotá D.E.
- Mirassou, S. B. (2009). La gestión integral de los recursos hídricos: aportes a un desarrollo conceptual para la gobernabilidad del agua.

- Muhammad N, Hooke AM (2003) Biomass characterization of slow sand filtration schmutz- decke and its effects on filter performance. *Env Technol.* 24: 43-50
- *OBLIGACIÓN TRIBUTARIA.* (1995, 22 diciembre). Estatuto Tributario Nacional. <https://estatuto.co/?o=50>
- ONU (2014). La escasez de agua. recuperado de <https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/scarcity.shtml>.
- Opricovic, S.; Tzeng, G. H. Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS. *Eur. J. Oper. Res.* 2004, 156, 445–455.
- Ossa Gonzalez, O. A. (15 de Abril de 2020). Información del sistema de captación de agua lluvia de. (M. A. Arce Libreros, Entrevistador)
- Ospina Zúñiga, O. E., & Moyano Díaz, Y. C. (2015). Evaluación del aprovechamiento para consumo humano del agua de lluvia en una microcuenca urbana de Ibagué, Tolima, Colombia.
- Parada, J. D. C., Alarcón, R. A., Pacheco, J. F., & Ramírez, C. (2016). Recopilación de experiencias en la potabilización del agua por medio del uso de filtros. *INVENTUM*, 11(20), 53-60.
- Penades Pla, V. (2017). Aplicación de la toma de decisión multicriterio al diseño sostenible de puentes de hormigón.
- Pérez Oddershede, A. V. (2010). Selección de sistema de tratamiento de aguas residuales para localidad de Santa Bárbara usando metodología de decisión multicriterio AHP.
- Podvezko, V. The Comparative Analysis of MCDA Methods SAW and COPRAS. *Eng. Econ.* 2011, 22, 134–146.
- Pons, O.; De La Fuente, A. Integrated sustainability assessment method applied to structural concrete columns. 2013.
- Quero, V. D. (2006). Formación docente, práctica pedagógica y saber pedagógico. *Laurus*, 12(Ext), 88-103.
- Quintero, D. S., Zapata, M. A., & Guerrero, J. (2007). Modelo de costos para el tratamiento de las aguas residuales en la región. *Scientia et technica*, 1(37).
- Radulovich, R. A. (1994). *Captación de agua de lluvia en el hogar rural* (No. 220). Bib. Orton IICA/CATIE.

- Ramón, V. L. (2010). Infraestructura sustentable: las plantas de tratamiento de aguas residuales. Quivera. Revista de Estudios Territoriales, 12(2), 58-69.
- Residuales en la Zona Rural del Municipio de Zarzal: CONTRALORÍA DEPARTAMENTAL DEL VALLE DEL CAUCA. Recuperado de <http://www.contraloriavalledelcauca.gov.co/publicaciones/39182/auditorias-2014/descargar.php?id=5464>.
- Reyes Hincapié, M. C., & Rubio Cano, J. J. (2014). Descripción de los sistemas de recolección y aprovechamiento de aguas lluvias (Bachelor's thesis).
- Ríos, R. G., Sánchez, C. G., & Gómez, E. S. (2007). Toma de decisiones empresariales: un enfoque multicriterio multiexperto. *Ingeniería Industrial*, 28(1), 29-36.
- ROJAS, Miguel. Evaluación de proyectos para ingenieros. Capítulo 4. Criterios de evaluación. [consultado el 04 de julio de 2020] Disponible en <http://www.bdigital.unal.edu.co/1740/10/9586484787.10.pdf>
- ROJAS, Miguel. Evaluación de proyectos para ingenieros. Criterios de evaluación. Capítulo 4. [Consultado el 04 de julio de 2020] Disponible en <http://www.bdigital.unal.edu.co/1740/10/9586484787.10.pdf>
- Romero, M. (2008). Tratamientos utilizados en potabilización de agua. *Boletín Electrónico [Internet]. [citado 2012 jun 16]*, 8, 1-12.
- Saaty, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International journal of services sciences*, 1(1), 83-98.
- Salario Mínimo. (2021, 4 enero). Evolución Histórica del Salario Mínimo en Colombia. <https://salariminimo.com.co/historico-salario-minimo-en-colombia/>
- Sánchez Castaño, A. M. (2011). Sistema de filtración para tratamiento de aguas lluvias.
- Sarabando, P.; Dias, L. C. Simple procedures of choice in multicriteria problems without precise information about the alternatives' values. *Comput. Oper. Res.* 2010, 37, 2239–2247.
- Sarache-Castro, W. A., Cárdenas-Aguirre, D. M., & Giraldo, J. A. (2005). Procedimiento para la definición y jerarquización de prioridades competitivas de fabricación. Aplicaciones en las pymes de la industria metalmecánica. *Ingeniería y Competitividad*, 7(2), 84-91

- Suárez, A., Mesa, P., Bravo, V., & Prieto, A. (2015). Evaluación de un sistema de filtros de cascarilla de arroz y luffa cylindrica para el tratamiento de aguas lluvias. *Revista Mutis*, 5(1), 21-27.
- Suárez, J., García, M., & Mosquera, R. (2006). Historia de los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia. *VI SEREA. Seminario Iberoamericano sobre Sistemas de Abastecimiento Urbano de Agua João Pessoa (Brasil)*, 5.
- Suleman, F., & Paul, J. J. (2007). La creación y la destrucción de la competencia individual: el papel de la experiencia profesional. *Revista Europea de Formación Profesional*, (40), 113-134.
- T. Saaty, L. Vargas. Models, Methods, Concepts & Applications of the Analytic Hierarchy Process. 2º ed. New York: Springer, 2012.
- T. Saaty. The Analytic Hierarchy Process. New York: McGraw-Hill, 1980.
- Tamiz, M.; Jones, D.; Romero, C. Goal programming for decision making : An overview of the current state-of-the-art. *Eur. J. Oper. Res.* 1998, 111, 569–581.
- Tenelema Villamar, C. P. (2018). Contratación de seguros para bienes muebles e inmuebles en el GAD Municipal Vinces. EGRESADA (Bachelor's thesis, BABAHOYO).
- UNAD. (2015). Diseño de plantas potabilizadoras. Recuperado de: <http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358040/Contenido en linea Diseno de Plantas Potabilizadoras/index.html>
- Velasco, H., Silva, A., Veenhuizen, R., Pérez, S., Prieto, M., Anaya, M., & Morales, R. (2000). Manual de Captación y Aprovechamiento del agua de lluvia, Experiencias en América Latina. Fao, 1–14
- Vinodh, S., & Swarnakar, V. (2015). Lean Six Sigma project selection using hybrid approach based on fuzzy DEMATEL–ANP–TOPSIS. *International Journal of Lean Six Sigma*.
- Weitzman, M. L. (2001). Gamma discounting. *American Economic Review*, 91(1), 260-271. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/1552/155215609006.pdf>
- Zapata, C. (2011). Confiabilidad en ingeniería. Universidad Tecnológica de Pereira., Pereira, Colombia: [http://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariaelettrica/lapsee/curso_2011_zapata_1. pdf](http://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariaelettrica/lapsee/curso_2011_zapata_1.pdf).

ANEXOS

ANEXOS 1 Datos para calcular el área del techo de graderías.

TECHO FRONTAL DE PISCINAS	$Ac = L \cdot b \cdot \text{Sena}$	Siglas	Datos	Unidades
	Ancho del techo	b	9,82	metros
	Longitud del techo	L	28	metros
	Angulo del techo con la vertical	α	77,27	°
	AREA DE CAPTACION	Ac	268,20	metros ²
TECHO TRASERO DE PISCINAS	$Ac = L \cdot b \cdot \text{Sena}$	Siglas	Datos	Unidades
	Ancho del techo	b	5,17	metros
	Longitud del techo	L	28,00	metros
	Angulo del techo con la vertical	α	77,27	°
	AREA DE CAPTACION	Ac	141,20	metros ²
AREA DE CAPTACION TOTAL PARA EL TECHO DE GRADERIAS DE LA PISCINA		Ac	409,40	metros ²

ANEXOS 2 Datos para calcular el área del techo de aulas.

TECHO INCLINADO DE EDIFICIO	$Ac = L \cdot b \cdot \text{Sena}$	Siglas	Datos	Unidades
	Ancho del techo	b	27,62	metros
	Longitud del techo	L	36,51	metros
	Angulo del techo con la vertical	α	87,4	°
	AREA DE CAPTACION	Ac	1007,38	metros ²
TECHO PLANO DE EDIFICIO	$Ac = L \cdot b \cdot \text{Sena}$	Siglas	Datos	Unidades
	Ancho del techo	b	658,00	metros
	Longitud del techo	L		metros
	Angulo del techo con la vertical	α	89,92	°
	AREA DE CAPTACION	Ac	657,99	metros ²
AREA DE CAPTACION TOTAL PARA EL TECHO DE AULAS		Ac	1665,37	metros ²

ANEXOS 3 Datos para calcular el área del techo de Cafetería.

TECHO TRASERO DE CAFETERIA	$Ac = L \cdot b \cdot \text{Sena}$	Siglas	Datos	Unidades
	Ancho del techo	b	2,55	metros
	Longitud del techo	L	20,06	metros
	Angulo del techo con la vertical	α	88,00	°
	AREA DE CAPTACION	Ac	51,12	metros ²
TECHO LATERAL IZQUIERDO DE CAFETERIA	$Ac = L \cdot b \cdot \text{Sena}$	Siglas	Datos	Unidades
	Ancho del techo	b	6,90	metros
	Longitud del techo	L	6,9	metros
	Angulo del techo con la vertical	α	88,00	°
	AREA DE CAPTACION	Ac	47,58	metros ²
TECHO CENTRAL DE CAFETERIA	$Ac = L \cdot b \cdot \text{Sena}$	Siglas	Datos	Unidades
	Ancho del techo	b	7,50	metros
	Longitud del techo	L	20,7	metros
	Angulo del techo con la vertical	α	73,51	°
	AREA DE CAPTACION	Ac	148,86	metros ²
TECHO LATERAL DERECHO DE CAFETERIA	$Ac = L \cdot b \cdot \text{Sena}$	Siglas	Datos	Unidades
	Ancho del techo	b	6,90	metros
	Longitud del techo	L	6,9	metros
	Angulo del techo con la vertical	α	89,92	°
	AREA DE CAPTACION	Ac	47,60	metros ²
AREA DE CAPTACION TOTAL PARA EL TECHO DE CAFETERIA		Ac	295,16	metros ²

ANEXOS 4 Coeficiente de escorrentía.

COBERTURA DEL SUELO	TIPO DE SUELO	PENDIENTE (%)				
		> 50	20-50	5-20	1-5	0-1
Sin vegetación	Impermeable	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60
	Semipermeable	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
	Permeable	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
Cultivos	Impermeable	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
	Semipermeable	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
	Permeable	0,40	0,35	0,30	0,25	0,20
Pastos, vegetación ligera	Impermeable	0,65	0,60	0,55	0,50	0,45
	Semipermeable	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35
	Permeable	0,35	0,30	0,25	0,20	0,15
Hierba	Impermeable	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
	Semipermeable	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
	Permeable	0,30	0,25	0,20	0,15	0,10
Bosque, vegetación densa	Impermeable	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35
	Semipermeable	0,45	0,40	0,35	0,30	0,25
	Permeable	0,25	0,20	0,15	0,10	0,05

ANEXOS 5 Oferta de agua lluvia.

OFERTA DE AGUA EN LA UNIVERSIDAD (m3)					
Mes	Precipitación promedio mensual	Coeficiente de escorrentía	Área de captación m2	Oferta de agua	Oferta del agua con pérdidas
Enero	78,43	0,75	2369,93	139,41	137,08
Febrero	97,04	0,75	2369,93	172,48	169,61
Marzo	179,13	0,75	2369,93	318,39	313,09
Abril	215,23	0,75	2369,93	382,56	376,18
Mayo	181,11	0,75	2369,93	321,91	316,55
Junio	120,64	0,75	2369,93	214,43	210,86
Julio	98,98	0,75	2369,93	175,93	173,00
Agosto	93,47	0,75	2369,93	166,14	163,37
Septiembre	147,04	0,75	2369,93	261,36	257,00
Octubre	198,72	0,75	2369,93	353,21	347,33
Noviembre	176,87	0,75	2369,93	314,38	309,14
Diciembre	124,04	0,75	2369,93	220,47	216,80
Precipitación promedio	142,56			Anual	2990
				AI = Oferta/mes	(pp*Ce*A)/1000
PPWS= Potencial ahorro de agua potable		106%		253,39	m3

ANEXOS 6 Cantidad de personas demandantes

SEG. CUADRO POR PROGRAMA Y JORNADA				
COD. PROG	PROGRAMA	DIURNO	NOCTURNO	TOTAL
2710	TECNOLOGIA ELECTRONICA	40	12	52
2711	TEC. EN SISTEMAS DE INFORMACION	38	64	102
2712	TECNOLOGIA ALIMENTOS	43	0	43
2716	TEC.AGROAMBIENTAL	89	0	89
2835	TEC.EN DIREC. DE EMPRESAS TUR. Y HOT.	60	0	60
3249	TRABAJO SOCIAL	189	0	189
3469	LIC.EDUC.BASICA ENF.EN MATEMATICAS	20	0	20
3492	LICENCIATURA. EN MATEMATICAS	41	0	41
3751	INGENIERIA INDUSTRIAL	232	0	232
3841	CONTADURIA PUBLICA	90	107	197
3845	ADMINISTRACION DE MEMPRESAS	167	193	360
5892	ESPECIALIZACION. GERENCIA PUBLICA	22	0	22
	DOCENTES Y ADMINITRATIVOS	47	0	47
	PERSONAL DE ASEO	3	0	3
	VIGILANTES	2	0	2
	TIENDA Y COCINERAS	3	0	3
TOTAL	=	1086	376	1462

ANEXOS 7 Calculo de la demanda

USO DE AGUA	NÚMERO DE PERSONAS	CONSUMO (L*P/D)	CONSUMO DIARIO	MENSUAL	ANUAL
ESTUDIANTES	1407	11,3	11129	222587	1780699
DOCENTES Y ADMINISTRATIVOS	47	14	658	13160	105280
PERSONAL DE ASEO Y LIMPEZA	3	18	54	1080	8640
VIGILANTES	2	15	30	900	10800
TIENDA Y COCINERAS	3	12	36	720	5760
TOTAL DEMANDA (Lt)		70,3	11907	238447	1911179
TOTAL DEMANDA DI (m3)		55	11,91	238,45	1911,18
Q (Lt/sg)			0,14	2,76	22,12

ANEXOS 8 Metodología para la selección de herramienta multicriterio

SELECCIÓN DEL MÉTODO MULTICRITERIO PARA LA TOMA DE DECISIONES EN PTAL							
No	LITERATURA	Technique for order of preference by similarity to ideal solution (TOPSIS)	Multicriteria optimization and compromise solution (VIKOR)	Analytic hierarchy process (AHP)	Measuring Attractiveness by a Category Based Evaluation Technique (MACBETH)	Elimination and choice expressing reality (ELECTRE)	PROMETHEE
1	Wahidin, C.A., P. A., & C.A. (2008). Modelo de negocio para la evaluación y ejecución de alternativas de diseño de plantas de tratamiento de aguas en las industrias, a partir de la implementación de un método para la toma de decisiones.			1			
2	Galarraga Molina, S. L. (2011). Desarrollo de una herramienta de análisis multicriterio para el soporte de toma de decisiones en el aprovechamiento de aguas lluvias en el campus de la Pontificia Universidad Javeriana, sede Bogotá.					1	
3	Martínez Sejarano, V., & Bravo Bustos, D. F. (2008). Análisis multicriterio para el diseño de la planta de tratamiento de agua potable para la Vereda el Chorro Corregimiento de Santa Inés, Municipio de Fumio, Valle del Cauca.	1					
4	Vaca Ruiz, M. P. (2018). Aplicación del modelo de análisis multicriterio para la selección de técnicas de conservación de suelo y agua en la cuenca del río Chota, al Norte de Ecuador (Bachelor's thesis).			1			
5	Robayo Ramos, G. E., & Rivas Palacio, M. (2020). Propuesta de aprovechamiento de agua lluvia en el casco urbano del municipio de Tenjo, Cundinamarca (Bachelor's thesis, Fundación Universidad de América).			1			
6	Montalván-Estrada, A., Aguilera-Corales, Y., Velázquez-Rodríguez, E., & Brígido-Piñero, O. (2017). Análisis multicriterio para la gestión integrada de aguas residuales industriales. Ingeniería Industrial, 38(1), 56-67.	1					
7	Pérez Oddenhede, A. V. (2010). Selección de Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales para Localidad de Santa Bárbara Usando Metodología de Decisión Multicriterio AHP.			1			
8	desinfección en proyectos de reutilización de las aguas residuales tratadas (Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de València).		1	1			
9	Martínez, P. M., Ortega, M. A., & Manjoma, P. C. (2020). Análisis multicriterio para la selección de tecnologías avanzadas de oxidación en el tratamiento de contaminantes emergentes. Respuestas, 25(2), 5.	1		1			
10	Arango García, A. A. (2012). Selección de los agentes reductores más eficientes para el tratamiento de aguas residuales industriales en una PTAR de cremado utilizando la metodología			1			
11	Aguiar Jofre, C. J., & Salinas Salas, G. (2015). Evaluación multicriterio para la selección de una planta de tratamiento de aguas servidas en función de su localización territorial (Doctoral dissertation, Universidad de Talca (Chile). Escuela de Ingeniería Forestal).			1			
12	Viveros, L. J. H., Rodríguez, J. C. M., & Sarmiento, D. A. L. (2019, December). Design of a Multicriteria Model with a Diffuse Hierarchical Analysis (Process-AHP), for the Selection of Suppliers in a Mobile Cellular Telecommunications Company. In Proceedings of the 2019 2nd International Conference on Education Technology Management (pp. 29-34).			1			
13	Optimización multicriterio para desalar agua de mar. By: Chamblás, Octavio; Padena, Lorena. Tecnología y Ciencias del Agua. may/jun2019, Vol. 9 Issue 3, p198-213. 16p. DOI: 10.24350/tyca-2019-03-02. Base de datos: Fuente Académica Plus	1	1			1	
14	Pérez-Ramírez, R., & Martínez-Damián, M. A. (2020). Modelo de decisión multicriterio para seleccionar los mejores proyectos productivos en el medio rural mexicano. AGROProductividad, 13(2), 101-108.	1		1			
15	Chávez, M. V. H., & Osuna, Y. R. (2013). Metodología de análisis multicriterio aplicación al crecimiento sostenible en la Unión Europea. Gestión en el Tercer Milenio, 18(31), 19-28.						1
16	Martín-Ortega, J., & Vecino, J. S. (2007). Método multicriterio para apoyo a la planificación hídrica/Multicriteria method for water resources planning/Méthode multicritère dans la gestion hydrique. Observatorio Mediocentrista, 30, 5-7.			1			
17	Setini, J. H., & Gerani, J. M. (2016). The Environmental Inequality Analysis In Rio Das Ostras-1, Brazil, Using Ahp (analytic Hierarchy Process) Technique. RAE: GA-O Espaço Geográfico em Análise.			1			
18	Chew Hernández, M. L., Velázquez Romero, V., Díaz Téllez, R., & Viveros Rosas, L. (2011). Propuesta de modelo multicriterio innovador para el análisis del proyecto de inversión en una planta de tratamiento de aguas. EconoQuantum, 9(1-2), 91-119.					1	
19	Angao, J. P. S., de Souza Holanda, C. L., de Castro, J. C., & de Costa, M. P. (2020). DECISION SUPPORT MODEL FOR IDENTIFICATION AND PRIORITIZATION OF SOCIOENVIRONMENTAL ACTION/ MODELO DE APOIO A DECISÃO PARA IDENTIFICAÇÃO E PRIORIZAÇÃO DE AÇÕES SOCIOAMBIENTAIS. Revista Exacta, 15(4), 642-656.						1
20	Barb, F. T. E., Enslin, L., & Enslin, S. R. (2012). Modelo para apoiar a gestão da alocação de pessoas com base na demanda de conhecimento. Revista de Gestão e Projetos, 3(2), 65-86.				1		
21	Chávez, M. V. H., & Osuna, Y. R. (2013). Metodología de análisis multicriterio aplicación al crecimiento sostenible en la Unión Europea. Gestión en el Tercer Milenio, 18(31), 19-28.						1
22	Kowalski, J. M., Matczakowski, J., & Piorek, P. (2004). Examining local ecological knowledge of hurricane impacts in a mangrove forest using an analytical hierarchy process (AHP) approach. Journal of coastal research, 20(3) (2003), 792-800.			1			
23	Lim, JY, How, SS, Teng, SY, Leong, WD, Tang, JP, Lam, HL, y Yoo, CK (2021). Optimización del ciclo de vida de múltiples objetivos para la formulación de fertilizantes de palma aceitera: un enfoque híbrido de gráfico P y TOPSIS. Recursos, conservación y reciclaje.	1					
24	Li, Y., Xiao, M., Zhu, G., & Li, Y. (2021). Evaluation of Irrigation-Drainage Scheme under Water Level Regulation Based on TOPSIS in Southern China. Polish Journal of Environmental Studies, 30(1).	1					
25	Mahmoudi, M., Aydi, A., & Ibrahim, H. Selección de sitio para recarga artificial con aguas residuales tratadas con la integración de evaluación multicriterio y ELECTRE III. Investigación en ciencias ambientales y contaminación, 1-16.					1	
# DE VECES EN QUE EL MÉTODO HA SIDO EMPLEADO EN ESTUDIOS:		7	2	13	1	4	3

ANEXOS 9 Metodología para la selección de criterios.

SELECCIÓN DE CRITERIOS PARA ELEGIR EL PETALLO ADECUADO									
No	ASPECTO	AMBIENTAL				TÉCNICO			
1	Literatura	Reutilización de agua	Energía requerida	Eficiencia de remoción	Costos de tratamiento	costo de operación y mantenimiento	durabilidad del sistema	facil implementación	confiabilidad
2	Galarza Molina, S. L. (2011). Desarrollo de una herramienta de análisis multi-criterio para el soporte de toma de decisiones en el aprovechamiento de aguas lluvias en el campus de la Pontificia Universidad Javeriana, sede Bogotá.	1		1	1	1		1	1
3	Martínez Bejarano, V., & Bravo Bustos, D. F. Análisis multicriterio para el diseño de la planta de tratamiento de agua potable para la Vereda el Chocho Corregimiento de Santa Inés, Municipio de Yumbo, Valle del Cauca.		1		1	1	1	1	
4	Robayo Ramos, G. E., & Rivas Palacio, M. (2020). Propuesta de aprovechamiento de agua lluvia en el casco urbano del municipio de Tenjo, Cundinamarca (Bachelor's thesis, Fundación Universidad de América).	1			1	1	1	1	
5	Pérez Odenhede, A. V. (2010). Selección de Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales para Localidad de Santa Bárbara Usando Metodología de Decisión Multicriterio AHP.		1	1	1	1			
6	Martínez Leal, R. A., & Uribe Mendoza, G. F. (2020). Modelo de negocio para la evaluación y ejecución de alternativas de diseño de plantas de tratamiento de reuso de agua en las industrias, a partir de la implementación de un método para la toma de decisiones.		1		1	1		1	
7	Cuenca Ruiz, M. A. (2016). Selección de un sistema de desinfección en proyectos de reutilización de las aguas residuales tratadas (Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de València).	1		1	1	1		1	1
8	Optimización multicriterio para desalar agua de mar. By: Chamblé, Octavio; Pradenas, Lorena. Tecnología y Ciencias del Agua. may/jun2018, Vol. 9 Issue 3, p198-213. 16p. DOI: 10.24850/tyca-2018-03-08. Base de datos: Fuente Académica Plus	1		1	1	1		1	1
9	Arango García, Á. A. (2012). Selección de los agentes reductores más eficientes para el tratamiento de aguas residuales industriales en una FPAR de cromado utilizando la metodología ANP y AHP (Master's thesis, Universidad de La Sabana).			1					
10	Chev Hernández, M. L., Velázquez Romero, V., Díaz Téllez, R., & Viveros Rosas, L. (2011). Propuesta de modelo multicriterio innovador para el análisis del proyecto de inversión en una planta de tratamiento de aguas. TronoQuantum, 3(1-2), 91-119.	1	1		1	1			
11	Martínez, F. M., Ortigón, M. A., & Manyoma, R. C. (2020). Análisis multicriterio para la selección de tecnologías avanzadas de oxidación en el tratamiento de contaminantes emergentes. Respuestas, 25(2), 5		1		1	1		1	
12	# DE VECES EN QUE EL CRITERIO HA SIDO EMPLEADO EN ESTUDIOS:	5	5	5	9	9	2	7	3

ANEXOS 10 Alternativas de tratamiento.

INFORMACIÓN REQUERIDA POR LOS CRITERIOS					
CRITERIO/ALTERNATIVA	INGE AGUAS	EDUARDOÑO	ACUAFILTROSOL	ARVEZA	AMBIENTE Y SOLUCIONES INTEGRALES (AS I)
UTILIZACIÓN DE AGUA	100%	99%	92%- 99%	65 %	99%
ENERGÍA REQUERIDA (MIN)	220 V	110 V	120 V	110V	110V
EFICIENCIA DE REMOCIÓN (MAX)	100%	100%	99%	100%	100%
COSTO TRATAMIENTO GLOBAL (MIN)	\$20.000.000	\$38.298.885,28	\$5.890.000,00	\$29.777.140	\$12.673.500,00
COSTO OPE/MTTO MENSUAL (MIN)	\$100.000	\$300.000	\$54.000,00	\$358.333,33	\$258.333,33
IMPLEMENTACIÓN EN DÍAS (MIN)	1	1	1	1	1

ANEXOS 11 Formato de encuestas a expertos



ENCUESTA PARA LA JUSTIFICACIÓN A LA PROPUESTA DE MEJORA Y SELECCIÓN DE TRATAMIENTO MEDIANTE UNA METODOLOGÍA DE DECISIÓN MULTICRITERIO DEL SISTEMA DE RECOLECCIÓN DE AGUA LLUVIA EL CAMPUS LAS BALSA DE LA UNIVERSIDAD DEL VALLE, SEDE ZARCÓN.

El objetivo de esta encuesta es apoyarnos en la opinión de un experto para contribuir a la fiabilidad de la información proporcionada para el proyecto de grado de los estudiantes Mayra Alejandra Arce y Cristian Alexis Arias, y así procedan a obtener el título de Ingenieros Industriales.

Responda la siguiente información personal:

1. TÍTULO ACADÉMICO:
2. PROFESIÓN EJERCIDA:
3. AÑOS DE EXPERIENCIA:

EN LA SIGUIENTE TABLA, DE ACUERDO CON SU CONOCIMIENTO EN EL ÁREA DE TRATAMIENTO DE AGUAS, SUGIERA UNA CALIFICACIÓN PARA EL CRITERIO "A" RESPECTO AL CRITERIO "B" SEGÚN SU NIVEL DE IMPORTANCIA, TENIENDO EN CUENTA LA ESCALA DE SAATY.

Ejemplo 1: Costo de tratamiento vs Reutilización de agua es igual a 5, quiere decir que: El Costo de tratamiento es fuertemente preferido que la Reutilización de agua.

NOTA: En caso de que el Criterio B sea más importante que el Criterio A, calificar primero el Criterio B respecto al Criterio A, de la forma "1/B".

Ejemplo 2: Para el ejemplo anterior, sería: Reutilización de agua vs costo de tratamiento es igual a 1/5.

CRITERIO A VS CRITERIO B	B	1	ESCALA DE SAATY
REUTILIZACIÓN DE AGUA	ENERGÍA REQUERIDA	1	IGUALMENTE PREFERIDO (IGP)
	EFICIENCIA DE REMOCIÓN	2	ENTRE IGP y MP
	COSTO TRATAMIENTO	3	MODERADAMENTE PREFERIDO (MP)
	COSTO OPE/MTTO	4	ENTRE MP y FP
ENERGÍA REQUERIDA	IMPLEMENTACIÓN	5	FUERTEMENTE PREFERIDO (FP)
	EFICIENCIA DE REMOCIÓN	6	ENTRE FP y MPP
	COSTO TRATAMIENTO	7	MUY FUERTEMENTE PREFERIDO (MPP)
	COSTO OPE/MTTO	8	ENTRE MPP y EXP
EFICIENCIA DE REMOCIÓN	IMPLEMENTACIÓN	9	EXTREMADAMENTE PREFERIDO (EXP)
	COSTO TRATAMIENTO		
COSTO TRATAMIENTO	COSTO OPE/MTTO		
	IMPLEMENTACIÓN		
COSTO OPE/MTTO	IMPLEMENTACIÓN		

ANEXOS 12 Calificación promediada de expertos.

CRITERIO VS CRITERIO		experto 1	experto 2	experto 3	experto 4	experto 5	experto 6	experto 7	experto 8	experto 9	ME.D.GED	INVERSO
UTILIZACIÓN DE AGUA	ENERGÍA REQUERIDA	1	9	5	1/2	4	5	3	1	1	2,23	0,45
	EFICIENCIA DE REMOCIÓN	4	6	5	1/3	1/8	2	1/6	1/5	1/5	0,74	1,35
	COSTO TRATAMIENTO	1	1	1/5	1/5	1/8	1/7	3	1/5	1/5	1/3	2,83
	COSTO OPE/MTTO	1	3	1/7	1/5	1/7	1/5	3	1/3	1/3	0,45	2,20
	IMPLEMENTACIÓN	9	6	7	4	1/7	6	1	1/6	1/5	1,52	0,66
ENERGÍA REQUERIDA	EFICIENCIA DE REMOCIÓN	1/7	5	5	1/3	1/6	1	1/5	1	1	0,70	1,43
	COSTO TRATAMIENTO	1	5	1/3	1/3	1	1	1	1/5	1/5	0,66	1,53
	COSTO OPE/MTTO	1	1/4	3	1/4	1/2	1	1	1/3	1/3	0,60	1,66
	IMPLEMENTACIÓN	5	7	5	5	1/2	3	1	1/2	1/2	2	1/2
EFICIENCIA DE REMOCIÓN	COSTO TRATAMIENTO	9	9	3	4	3	1	5	1/7	1/5	2	1/2
	COSTO OPE/MTTO	8	6	5	4	2	2	5	1	2	1,23	1/3
	IMPLEMENTACIÓN	7	8	7	5	2	3	5	2	2	4	1/4
COSTO TRATAMIENTO	COSTO OPE/MTTO	1/9	1	1/8	1/3	2	1	1/2	5	7	0,82	1,22
	IMPLEMENTACIÓN	7	5	8	2	1	5	1	5	7	1,59	0,28
COSTO OPERACIÓN/MANTENIMIENTO	IMPLEMENTACIÓN	3	7	5	6	1	5	1	5	7	1,63	0,28

ANEXOS 13 Costos de inversión.

COSTOS DE MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN				
MATERIAL	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
Cemento	50 Kg	180	\$ 23.690	\$ 4.264.200
Tubería PVC x6 m	3"	2	\$ 67.000	\$ 134.000
Tubería PVC x6 m	4"	14	\$ 93.800	\$ 1.313.200
Tubería PVC x6 m	6"	9	\$ 194.000	\$ 1.746.000
Tubería PVC corrugada x6 m	8"	26	\$ 185.000	\$ 4.810.000
Unión PVC	3" a 1/2"	1	\$ 9.000	\$ 9.000
Unión PVC	4" a 2"	16	\$ 7.000	\$ 112.000
Unión PVC	6" a 3"	14	\$ 28.000	\$ 392.000
Tee PVC	4" a 2"	3	\$ 15.000	\$ 45.000
Tee PVC	6" a 3"	6	\$ 120.000	\$ 720.000
Varillas	1/2"	173	\$ 20.890	\$ 3.613.970
Varillas	3/8"	70	\$ 14.500	\$ 1.015.000
Alambre	Kg	60	\$ 3.500	\$ 210.000
Hierro de 1/4	Kg	20	\$ 4.300	\$ 86.000
Hidroflo	NA	1	\$ 450.000	\$ 450.000
Puntilla mixta	Lb	20	\$ 7.000	\$ 140.000
Tablas	Unidad	25	\$ 15.000	\$ 375.000
Encofrado (Vigas, guadua y tableros)	NA	NA	\$ 3.000.000	\$ 3.000.000
Arena lavada	m3	12	\$ 40.000	\$ 480.000
Grava de 3/4	m3	18	\$ 90.000	\$ 1.620.000
Soldadura PVC	Lt	2/4.	\$ 32.000	\$ 32.000
Limpiador PVC	Lt	1/4.	\$ 24.900	\$ 24.900
Cinta PVC de 15 cm de ancho	m	20	\$ 44.660	\$ 893.200
Arena fina o de repello	m3	2	\$ 40.000	\$ 80.000
Plastocrete	Galon	1	\$ 41.400	\$ 41.400
Sikalatex	Lt	6/4.	\$ 38.000	\$ 38.000
COSTO TOTAL DE MATERIAL				\$ 25.644.870
COSTOS DE MANO DE OBRA				
DIVISIÓN	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
Excavación	m3	165	\$ 20.500	\$ 3.382.500
Fundición	m3	180	\$ 40.555	\$ 7.299.900
Instalación PVC	m	305	\$ 8.197	\$ 2.500.085
Retiro y disposición de materiales	m3	35	\$ 20.500	\$ 717.500
Repello	m3	3	\$ 833.333	\$ 2.499.999
COSTO TOTAL DE MANO DE OBRA				\$ 16.399.984
COSTO TOTAL DE DE OBRA CIVIL				\$ 42.044.854
COSTO INICIAL DE TRATAMIENTO				
RO OSMOSIS INVERSA HI FLUX UV			\$ 5.890.000	
INSTALACIÓN Y ARRANQUE			\$ 300.000	
COSTO TOTAL DE IMPLEMENTACIÓN DE TRATAMIENTO			\$ 6.190.000	
IMPREVISTOS			\$ 2.411.743	
COSTO TOTAL DE SISTEMA DE			\$ 50.646.597	

[illegible]