

Diseño de un sistema alternativo de aprovechamiento de aguas lluvias para abastecer el consumo de los aparatos hidro-sanitarios del Centro Comunitario de Atención Virtual (CCAV) Cartagena de la UNAD

Nelson Chiquillo Correa

Ann Dayana Hooker Britton

Julián David Cuevas Morales

Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente, ECAPMA

Programa de Ingeniería Ambiental

Cartagena, Colombia

2022

Diseño de un sistema alternativo de aprovechamiento de aguas lluvias para abastecer el consumo de los aparatos hidro-sanitarios del Centro Comunitario de Atención Virtual (CCAV) Cartagena de la UNAD

Nelson Chiquillo Correa

Ann Dayana Hooker Britton

Julián David Cuevas Morales

Trabajo para optar al título de ingeniero ambiental

Director:

Ing Civil Mag. Jaime Luis Fortich Fortich)

Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente, ECAPMA

Programa de Ingeniería Ambiental

Cartagena, Colombia

2022

Página de Aceptación

Ing. Civil Mag. Jaime Luis Fortich Fortich)

Director Trabajo de Grado

Jurado - Cindy García

Cartagena - 2022

Dedicatoria

Este trabajo se lo dedicamos primero que todo a nuestro señor jehová, por ser una gran fuente de bondad, amor, sabiduría y brindar la oportunidad de concluir este gran sueño, a nuestros padres por sus esfuerzos para motivarnos a conseguir un futuro mejor, A nuestros hijos por sus alegrías que nos brindan a cada día y sobre todo a nuestras parejas que son un pilar fundamental en nuestras vidas y su apoyo a sido fundamental para lograr este gran paso. Por último y sin ser menos al profesor Jaime Luis Fortich por su esfuerzo sobre humano para ayudarnos y dirigir nuestro trabajo de grado

Nelson chiquillo, Ann Hooker y Julián Cuevas

Agradecimientos

En primer lugar, deseamos expresar nuestro agradecimiento al director de nuestras vidas a nuestro padre santo Jehová. Al Mgs. Y gran docente Jaime Fortich por ser el director de nuestra tesis, por la dedicación y apoyo que ha brindado a este trabajo, por el respeto a mis sugerencias e ideas y por la dirección y el rigor que ha facilitado a las mismas.

Pero un trabajo de investigación es también fruto del reconocimiento y del apoyo vital que nos ofrecen las personas que nos estiman, sin el cual no tendríamos la fuerza y energía que nos anima a crecer como personas y como profesionales. Por ende, quisiéramos agradecerles a nuestras familias, a nuestros padres y hermanos, porque con ellos compartimos una infancia feliz, que guardamos en el recuerdo y es un aliento para seguir escribiendo nuestras historias.

Este logro sobre todo se lo debemos agradecer a nuestras esposas, esposas e hijos, por su paciencia, comprensión y solidaridad con este proyecto, por el tiempo que nos han concedido, un tiempo robado a la historia familiar. Sin su apoyo este trabajo nunca se habría escrito y, por eso, este trabajo es también el suyo.

A todos, muchas gracias.

Resumen

Usar el agua de manera idónea para mejorar el consumo ha sido uno de los temas fundamentales en las conferencias y debates a nivel mundial sobre el correcto aprovechamiento del recurso agua. El recurso agua es utilizado en casi todas las actividades de la raza humana por eso el debido uso de este recurso se ha vuelto una necesidad primordial que implica garantizar la sostenibilidad del recurso hídrico, este recurso, por cierto, es finito y vulnerable, y es esencial para sostener la vida en nuestro planeta. La captación y posterior uso de las aguas pluviales son una buena alternativa para el abastecimiento de comunidades, centros religiosos y de estudios, desde un punto de vista ambiental, así como también económico, si se tiene en cuenta la gran demanda del recurso hídrico, y los elevados costos por el consumo de agua potable en una edificación.

En este proyecto se presenta una propuesta de diseño de un sistema alternativo para aprovechamiento de las aguas lluvias con el objetivo de ahorrar el consumo del recurso agua de los aparatos hidro-sanitarios y equipos que no demanden uso de agua potable como el lavado de zonas comunes, lavado de equipos de mantenimiento, entre otros. Se busca establecer un análisis aproximado de la viabilidad técnico-económica de dicho aprovechamiento en las instalaciones del Centro Comunitario de Atención Virtual-CCAV de Cartagena de Indias de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia que representen una solución interesante para contribuir al desarrollo sostenible. Este proyecto se basa en tres aspectos principales: el cálculo de los volúmenes disponibles de agua lluvia a partir de las precipitaciones en la zona, la evaluación del volumen de agua potable ahorrado con el aprovechamiento del agua lluvia y la estimación del presupuesto para la construcción del sistema y la proyección del posible ahorro generado al implementarlo.

Palabras claves: agua lluvia, precipitaciones, comunidades, sistemas, hidro-sanitario, aprovechamiento.

Abstract

Using water in a suitable way to improve consumption has been one of the main topics in conferences and debates worldwide on the correct use of water resources. The water resource is used in almost all activities of the human race, that is why the proper use of this resource has become a primordial necessity that implies guaranteeing the sustainability of the water resource, this resource, by the way, is finite and vulnerable, and is essential to sustain life on our planet. The collection and subsequent use of rainwater is a good alternative for the supply of communities, religious and study centers, from an environmental point of view, as well as economically, if we take into account the great demand for water resources, and the high costs for the consumption of drinking water in a building.

This project presents a proposal for the design of an alternative system for the use of rainwater with the objective of saving the consumption of the water resource of the hydro-sanitary devices and equipment that do not demand the use of potable water, such as the washing of common areas, washing of maintenance equipment, among others. We seek to establish an approximate analysis of the technical-economic feasibility of such use in the facilities of the Virtual Community Care Center-CCAV of Cartagena de Indias of the Universidad Nacional Abierta y a Distancia that represent an interesting solution to contribute to sustainable development. This project is based on three main aspects: the calculation of the available volumes of rainwater from rainfall in the area, the evaluation of the volume of drinking water saved with the use of rainwater, and the estimation of the budget for the construction of the system and the projection of the possible savings generated by its implementation.

Keywords: rainwater, rainfall, communities, systems, hydro-sanitary, use.

Tabla de contenido

Lista de tablas.....	10
Lista de figuras.....	11
Introducción	12
planteamiento del problema.....	14
Justificación.....	16
Objetivo general.....	18
Objetivos específicos.....	18
Estado del arte.....	19
Marco teorico.....	23
Variabilidad climática y el recurso hídrico de Colombia.....	23
Captación de aguas lluvias.....	24
Modelo del sistema de aprovechamiento de aguas lluvia a utilizar.....	25
Componentes de un sistema de aprovechamiento de aguas lluvia.....	25
Determinación de los regímenes de precipitación a partir de datos pluviométricos de las estaciones meteorológicas.....	29
Estaciones meteorológicas en la ciudad de Cartagena.....	29
Metodología para determinación de caudales de consumo de aparatos hidráulicos- sanitarios.....	30
Metodología	41
Diseño de investigación	42

Resultados y analisis de resultados.....	47
Valores de consumo y costo de agua potable en el CEAD Cartagena de indias.....	49
Precipitación promedio mensual (Ppi).....	50
Demanda de agua en el mes “i” (Di).....	52
Oferta de agua en el mes “i” (Ai).....	53
Demanda acumulada (Dai).....	54
Oferta acumulada (Aai).....	55
Volumen de almacenamiento (Vi).....	56
Interceptor de primeras aguas.....	57
Potencial de ahorro de agua potable.....	58
Red de distribución de agua lluvia.....	58
Red de distribución.....	61
Sistema de bombeo.....	62
Cantidades de obra y presupuesto.....	63
Análisis financiero.....	66
Conclusiones y recomendaciones.....	69
Bibliografía.....	71

Lista de tablas

Tabla 1. Caudales instantáneos y diámetros para cada aparato sanitario.....	37
Tabla 2. Valores de consumo y costo de agua potable, de los últimos siete (12) meses, en el CEAD Cartagena de indias.....	50
Tabla 3. Precipitación promedio mensual (Ppi), alrededor del CEAD Cartagena de indias.....	51
Tablas 4. Distribución de aparatos sanitarios del Cead Cartagena de indias.....	59
Tabla 5. Gasto máximo posible por aparatos sanitarios.....	59
Tabla 6. Resumen de los cálculos.....	60
Tabla 7. Dimensionamiento de las redes de distribución.....	61
Tabla 8. Dimensionamiento del sistema de bombeo.....	62
Tabla 9. Cantidades de obra y presupuesto.....	63
Tabla 10. Gasto anual del Cead Cartagena de indias.....	66

Lista de figuras

Figura 1. Guía de diseño para captación del agua de lluvia.....	25
Figura 2. Ejemplo de un interceptor de primeras aguas.....	35
Figura 3. Ubicación del Cead Cartagena de indias.....	41
Figura 4. Sistema típico de captación de agua lluvia en techos.....	44
Figura 5. Promedio de las precipitaciones mensuales de aguas lluvia en la ciudad de Cartagena.....	48
Figura 6. Consumo promedio mensual del Cead Cartagena de indias.....	49
Figura 7. Demanda de agua en el Cead Cartagena de indias.....	52
Figura 8. Área del tejado del Cead Cartagena de indias con modelación de Qgis.....	53
Figura 9. Oferta de agua mensual en el Cead Cartagena de indias.....	54
Figura 10. Demanda acumulada (Dai) del Cead Cartagena de indias.....	55
Figura 11. Oferta acumulada (Aai) en el Cead Cartagena de indias.....	55
Figura 12. Volumen de almacenamiento en el Cead Cartagena de indias.....	56
Figura 13. Potencial de ahorro de agua potable en el Cead Cartagena de indias.....	58

Introducción

El agua es uno de los recursos vitales a nivel mundial e incluso universal, del agua es proveniente la vida en nuestro planeta y la evolución de la misma, este recurso es importancia no solamente tiene que ver con las funciones metabólicas del agua para las plantas y animales (estructurales, transporte de solutos, turgencia celular, participación en reacciones y ciclos, etc.), sino también con sus características dinámicas en estos procesos metabólicos. La velocidad con que se puede pasar de una situación de disponibilidad plena hacia una situación de escasez de agua es mayor que en el caso de los nutrientes esenciales. Por ejemplo, un suelo no pasa de rico en nutrientes a una condición de deficiente en pocos días, pero la disponibilidad de agua sí. A excepción de algunas especies, no hay almacenamiento de reserva de agua de largo plazo en el organismo: su consumo ocurre casi en tiempo real, en la medida que se necesita. Una planta puede estar en plena actividad hídrica a las diez de la mañana y cuatro horas después presentar déficit, si no se mantiene el flujo de agua del suelo. Esta característica dinámica de la disponibilidad hídrica es todavía más importante en la medida que las condiciones climáticas, principalmente la precipitación, son inciertas. (FAO, 2013).

En los últimos años el nivel del consumo de este recurso se ha incrementado debido al crecimiento demográfico de la raza humana, incrementado con ello problemas relacionados con el abastecimiento de dicho recurso. Bajo la perspectiva del calentamiento global, el problema de la escasez de agua tiende a empeorar en aquellas regiones en las que ya se presenta déficit, sea por la tendencia de reducción de los niveles de precipitación o por el aumento de los niveles de evaporación y transpiración. De esta manera, el problema en la región podría extenderse y agudizarse, alcanzando zonas actualmente subhúmedas y húmedas. (FAO, 2013).

Teniendo en cuenta lo anterior en regiones semi áridas han implementado novedosos sistemas de captación de agua por medio de la recolección de la humedad del aire haciendo pasar

por un sistema avanzado, aguas lluvias o aguas subterráneas para suplir la demanda de las poblaciones emergentes. Por lo que este proyecto plantea entonces, considerar el diseño de un sistema de captación de aguas lluvias como opción para el abastecimiento del centro universitarios Cead Cartagena de indias de la universidad nacional abierta y a distancias, teniendo en cuenta 4 aspectos importante, el primero se basara en la recolección de información pluviométrica y climática de la zona de estudio para analizar los promedios en precipitaciones de la zona, el segundo en el diseño y cálculos de un sistema de captación de aguas, el tercer aspecto evaluara el potencial de ahorro de agua potable de acuerdo con el volumen de agua lluvia captado en el centro universitario y cuarto aspecto estimara el costo-beneficio del sistema, evidenciando el presupuesto para la construcción del sistema y la proyección del ahorro generado al utilizar la solución propuesta.

Planteamiento del Problema

En toda la historia de la raza humana hemos visto que sus inicios siempre fueron ligados a un recurso denominado agua, el agua es un recurso natural vital para la vida, vital para el estilo de vida de las comunidades humanas y sobre todo para las actividades en que las personas de estas comunidades participan. este recurso forjó las bases de la vida biológica y sobre todo social de los seres vivos, en particular del hombre. (Conant, 2005). Sin embargo, en numerosas zonas del mundo, muchas poblaciones no cuentan con el recurso hídrico necesario para mantener un nivel de vida aceptable, es muy común encontrar que sectores importantes de la población deben recorrer grandes trayectos para recoger el agua disponible, la cual no siempre está en condiciones para el consumo humano, lo que incrementa el riesgo de epidemias y enfermedades graves. La mala calidad el agua y el saneamiento irregular afectan gravemente el estado sanitario de la población; sólo el consumo de agua contaminada causa cinco millones de muertes al año, según informes de las Naciones Unidas y la Organización Mundial de la Salud-UNESCO (2006).

En los últimos años muchos científicos se han pronunciado sobre la captación de agua de lluvia en zonas alejadas y con bajas precipitaciones en las cuales los sistemas de aguas potables no llegan o son inexistentes y ya que uno de los efectos más graves del cambio climático es la escasez de este recurso vital para los seres humanos, esta podría ser una solución efectiva para que más personas puedan tener acceso al agua. Además, cada vez es más frecuente escuchar noticias relacionadas sobre el recorte del agua por parte de los gobiernos y el desabasto en zonas del mundo, tanto en ciudades como en el campo.

En el caso de nuestro país Colombia, sabemos que es un país tropical el cual posee dos estaciones climáticas y a raíz del efecto invernadero presente en los últimos años dichas estaciones han venido cambiando su interacción a lo largo de los años, causando serios problemas en las cosechas y las épocas de producción-recolección, esto se debe a que se han observados

cambios climáticos no esperados en épocas que en años anteriores no se tenían registro. Para compensar las épocas de sequía, en nuestro país, sobre todo en el área rural del caribe, el concepto de aprovechamiento de las aguas pluviales ha sido una tradición histórica que permitió parte de su desarrollo rural y manejo cotidiano de la forma de vida.

La posición geográfica de Colombia es vital para la implementación de sistemas con aprovechamiento de aguas lluvias, ya que por encontrarse en la línea ecuatorial es privilegiada en producción de agua, (entre 500 y 5000 milímetros anuales dependiendo de la región), lo que indica que se podrían recoger hasta 5.000 litros por metro cuadrado cada año. (Reyes, 2014). Sin embargo, las leyes colombianas aún no precisan la regulación respecto a los sistemas hidrosanitarios que incorporan el aprovechamiento de aguas lluvias, a día de hoy, son pocos los proyectos de gran escala a nivel urbano que han implementado este sistema y algunos de ellos han recibido certificaciones internacionales por el uso eficiente del agua en su interior, éstos también han reducido sus costos operativos con menores pagos por servicio de acueducto. (Reyes, 2014).

La propuesta de investigación que se plantea a partir de este proyecto es diseñar un sistema alternativo de aprovechamiento de aguas lluvias para disminuir parte del consumo de los aparatos hidráulico-sanitarios del CCAV Cartagena para generar conciencia que todo diseño de edificaciones nueva o usada se anexe la instauración de sistemas de captación y aprovechamiento de las aguas lluvias.

Justificación

En Colombia, las aguas pluviales urbanas actualmente son subutilizadas debido a que no se encuentran comprendidas como un recurso; pero en cambio, sí representan un problema para su evacuación, debido a que el drenaje urbano tradicionalmente ha sido concebido para agrupar ligeramente el agua lluvia y conducirla fuera de las zonas con altos valores de densidad poblacional; los cauces en estos centros urbanos han sido canalizados y el alcantarillado diseñado para recolectar toda el agua producto de la escorrentía superficial, originando en los sistemas hídricos la pérdida de la riqueza natural y su capacidad de respuesta ante las crecientes presentadas. Así mismo, por el aumento de las superficies impermeables en las ciudades, los sistemas de drenaje resultan ser incapaces para infiltrar los volúmenes de agua circulantes, generando con mayor frecuencia las inundaciones (Hernández, et al., 2006; Sánchez & Caicedo, 2004).

En la actualidad se está produciendo una gran expansión en el aprovechamiento del agua, tanto en el ámbito doméstico como en el comunitario. El reciclaje y la reutilización del agua, son fenómenos bastante extendidos en las áreas con escasez de agua, pero es precisamente esa limitación regional lo que impide que se desarrollen más alternativas de aprovechamiento. Es decir, se ha tendido a dar solución a las poblaciones con alto nivel de escasez de agua, pues “sólo cuando no existe red de agua potable, el suministro es deficiente o el agua tiene un costo muy alto, se piensa en buscar sistemas alternativos de abastecimiento” (Ballén, Galarza y Ortiz, 2006), pero no se han difundido dichas prácticas en las regiones donde, aunque haya buena disponibilidad, también se puede reducir la presión sobre las cuencas, y dar un mejor uso al recurso, en materia de ahorro y uso eficiente del mismo. El diseño de un sistema alternativo de aprovechamiento de aguas lluvias nos permite dimensionar el valor del recurso hídrico dentro del contexto cultural, social y económico del CCAV Cartagena de indias, no solo por los potenciales

ahorros que podría generar en términos del gasto en servicios públicos, sino también por el mensaje pedagógico que podemos transmitir a las diferentes generaciones que interactúan a nivel de nuestro centro educativo, con este proyecto se busca generar una línea de compromiso de mejorar las condiciones de gasto hídrico del centro. Además, de ser multiplicadores de un mensaje que impacta a nivel mundial, “cada gota cuenta” y así, para esto diseñaremos un sistema de aprovechamiento del recurso hídrico focalizado en abastecer el consumo de los aparatos hidráulico-sanitarios del CCAV Cartagena.

Objetivos

Objetivo General

Diseñar un sistema alternativo de aprovechamiento de aguas lluvias para abastecer el consumo de los aparatos hidro-sanitarios del Centro Comunitario de Atención Virtual (CCAV) Cartagena de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia

Objetivos Específicos

Calcular los volúmenes disponibles de agua lluvia a partir de las precipitaciones en la zona

Evaluar el volumen de agua potable ahorrado con el aprovechamiento del agua lluvia por medio del uso del sistema hidro-sanitario.

Establecer ventajas y desventajas de la implementación de un sistema de aprovechamiento de aguas lluvias.

Estimar el costo-beneficio producto del diseño del sistema de recolección, almacenamiento y distribución de las aguas lluvias.

Estado del Arte

La revisión literaria existente sobre el aprovechamiento de las aguas lluvias como alternativa para el abastecimiento de agua en zonas urbanas o rurales plantea diferentes técnicas, la mayoría de ellas para ser implementadas en residencias rurales, o en regiones de alto grado de desabastecimiento de agua potable. Los principales métodos plantean sistemas de captación en techos los cuales emplean canaletas para direccionar las aguas hacia un estanque que sería el sitio de almacenamiento para su posterior utilización en actividades domésticas, de consumo humano y en algunas ocasiones para uso agrícola. Actualmente la práctica de recolección de aguas lluvias se realiza en diversas partes del mundo, sobre todo en las regiones áridas o semiáridas del mundo, y la mayoría de las publicaciones existentes sobre esta técnica se basa en experiencias del Medio Oriente, Australia, África del Norte, India, norte de México y sur este de Estados Unidos. (Parga, 2016).

Factores tales como el lugar de aplicación, el método, las tecnologías, la complejidad del sistema, la finalidad y los usos posibles, hacen que los sistemas varíen desde barriles de agua lluvia para el riego de jardines en zonas urbanas, hasta la recolección a gran escala de agua lluvia para todos los usos domésticos de una ciudad. (Texas Water Development Board, 2005).

Dentro de la revisión realizada se encontraron similitudes en cuanto a los componentes para un sistema de recolección de aguas lluvias, según Texas Water Development Board (2005) generalmente existen 6 componentes básicos: captación en techos, recolección por canaletas y bajantes, interceptor de primeras aguas, almacenamiento en tanques, sistema de distribución y tratamiento. Estos serían los componentes requeridos si se quieren utilizar el agua lluvia para consumo humano y usos domésticos. Otros autores como Abdulla y Al-Shareef resumen que un sistema básico de recolección debería solo tener tres (3) componentes básicos: captación, interceptor y almacenamiento (Abdulla y Al-Shareef, 2006).

Autores como Abdulla (2009), Herrmann & Schmida (1999), Jones & Hunt, (2010), entre otros estudios analizados, se estableció que una configuración básica de un sistema de aprovechamiento de agua lluvia consta de tres componentes, la captación (cubiertas, tejados y pisos), los sistemas de conducción (canales, tuberías horizontales y verticales), y el sistema de almacenamiento. Adicionalmente dependiendo del uso que se le vaya a dar al agua recolectada estos sistemas pueden tener cualquier combinación de los siguientes aditamentos:

- I. Una unidad de tratamiento de agua (filtros, desinfección, tanques de auto limpieza, interceptor de primeras aguas).
- II. Un sistema de bombeo.
- III. Un tanque de almacenamiento superior.
- IV. Red de distribución.

Para la implementación de un sistema de aprovechamiento de agua lluvia según autores como Jones & Hunt (2010), se depende de tres factores: precipitación pluviométrica, área de captación y demanda. Pero se debe tener en cuenta que la puesta en marcha de estos sistemas muchas veces se ve limitada por los altos costos de construcción, siendo el tanque de almacenamiento el componente más costoso y limitante de espacio debido a su volumen. El sistema considera la infiltración local del sobre-flujo del tanque como una alternativa al vertimiento de las alcantarillas o sistemas de drenaje.

Autores como Herrmann y Schmida (1996) y Herrman, Kup y Hense (1999), calcularon el impacto hidrológico de la infiltración y concluyen que una práctica combinada entre agua de lluvia e infiltración local puede restaurar y mantener el balance hidrológico local, independientemente de la capacidad de infiltración del suelo y de la superficie disponible para la infiltración.

Según Arévalo (2018) actualmente en Colombia no existe una normatividad que rija este tipo de iniciativas e implementaciones, pero cursa en el Congreso de la República un proyecto de ley radicado en el año 2017 que tiene por objetivo implementar e incentivar el establecimiento de sistemas de recolección, tratamiento y aprovechamiento de aguas lluvias y captación de energía solar en las edificaciones nuevas y preexistentes en todo el territorio nacional, y que le da al Gobierno de Colombia la responsabilidad de crear el Fondo Nacional para el Uso y Aprovechamiento de las Aguas Lluvias y la Energía Solar, encargada de regular y estimular estas iniciativas.(Arévalo, 2018).

A nivel local un estudio realizado por Gamarra (2015) en la universidad de Cartagena demostró que el dimensionamiento de los sistemas la modelación permite obtener los volúmenes de almacenamiento técnico y óptimo, junto con sus respectivos potenciales de ahorro de agua. Para un periodo de 10 años permitirá obtener sin tener en cuenta limitaciones económicas y de espacio la demanda requerida para riego de zonas verdes y el aseo de zonas comunes puede ser suplida en un porcentaje que varía del 29% al 39% utilizando tanques de 100 m³, pero si de lo contrario se busca un modelo ajustado a la realidad y se prevén limitaciones espaciales y económicas el porcentaje cambia del 5% al 8% utilizando tanques entre 15 m³ y 30 m³ respectivamente. En el estudio el autor concluye que

“Los resultados de este estudio muestran que el agua lluvia es insuficiente para cubrir el uso deseado, solo llega a suplir el 14%, debido a que la infraestructura del campus limita la construcción del tanque que se requeriría por su desmesurado volumen (7.400 m³). Además, considerando la inversión necesaria para implementar estos sistemas es \$448.200.443 para el 2010 y el ahorro anual aproximado generado por los mismos es \$24.174.754, concluyen que financieramente es una inversión costosa y que su periodo de retorno es a largo plazo”. (Gamarra, 2015).

Por todo lo anterior, esta revisión bibliográfica permite concluir que es viable y rentable poder ejecutar este proyecto de investigación dada la finalidad que busca y la ausencia de estudios similares para la ciudad, la región y el país.

Marco Teórico

En la actualidad la presión que se ejerce sobre las cuencas hidrográficas de Colombia es muy alta, debido a la alta demanda del recurso y el grado de contaminación de las fuentes superficiales. En base a esto, muchas zonas urbanas cuentan con un alto grado de desabastecimiento de agua potable (IDEAM, 2010), por tal motivo es promisorio adoptar medidas alternativas de abastecimiento del líquido que permiten mantener la sostenibilidad de una población, y conocer la manera de cómo aprovechar las aguas lluvias es fundamental para dicho propósito

El aprovechamiento de agua lluvia para instituciones educativas, es una práctica de fácil implementación, que permite disminuir los consumos de agua potable, logrando así, una reducción en los gastos por dichos consumos, y dando un uso eficiente al recurso, de manera que aquellos sistemas en los cuales el agua potable no es necesaria, puedan ser abastecidos por el agua lluvia. (Castañeda, 2010). Por medio de esta investigación, se expone la utilidad de los sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias como una opción para mitigar el impacto negativo en la escorrentía superficial de grandes urbes y como manera proactiva de contribuir con el desarrollo sostenible de los recursos hídricos.

Variabilidad Climática y el Recurso Hídrico de Colombia

El fenómeno ENSO es uno de los forzantes con mayor influencia sobre la variabilidad interanual del clima y del recurso hídrico en Colombia. Una gran porción del territorio es sensible a sus efectos de disminución o aumento de la oferta y de amenaza de eventos, como inundaciones y sequías. En este estudio se cuantifico el nivel de afectación debido al fenómeno del Niño entre los años 2009-2010, el propósito es determinar cuáles son las zonas hidrológicas sensibles al fenómeno y tener una media de la afectación con respecto a las condiciones promedio; con el fin de proporcionar información a las entidades nacionales, regionales y locales para que formulen

estrategias de gestión y adaptación acordes a la variabilidad climática, orientadas a lograr una sostenibilidad del recurso hídrico en épocas críticas (Satoque, 2014).

Captación de Aguas Lluvias

El sistema de captación de aguas es recomendable en zonas con limitaciones de disponibilidad de agua superficial. La captación de aguas lluvias es viable en zonas hidrológicamente secas, también es una alternativa factible para zonas húmedas como quiera que es común encontrar en el campo factores tales como corrientes de agua en depresiones profundas, fuentes situadas a gran distancia, problemas de linderos y servidumbre, carencia de energía eléctrica, alto costo y seguridad de los elementos y equipos alternos como bombas de agua y arietes hidráulicos, calidad del agua disponible y otros inconvenientes que conllevan al aprovechamiento de las aguas lluvias (Satoque, 2014).

Actualmente en Colombia la implementación de un sistema de recolección y aprovechamiento de aguas lluvias, significa el uso de mano de obra, maquinarias, compra de materiales, es decir genera un costo adicional al determinado para un proyecto típico, por lo que es importante establecer si realmente es necesaria esta obra, y si se obtienen los beneficios ambientales y económicos que justifiquen dicha inversión (Reyes, 2014).

La manera de determinar esto es mediante el análisis de la precipitación efectiva y el uso consuntivo del agua recolectada, definiendo a los mismos como:

Precipitación efectiva: y que está disponible para el uso, en otras palabras, es el agua que no se ha perdido por evaporación, percolación profunda o escorrentía.

Uso consuntivo: Es el requerimiento de agua de una edificación, ya sea para usos domésticos, industriales, de lavado, de riego, o cualquier otro uso que pueda y necesite darse dentro de proyecto.

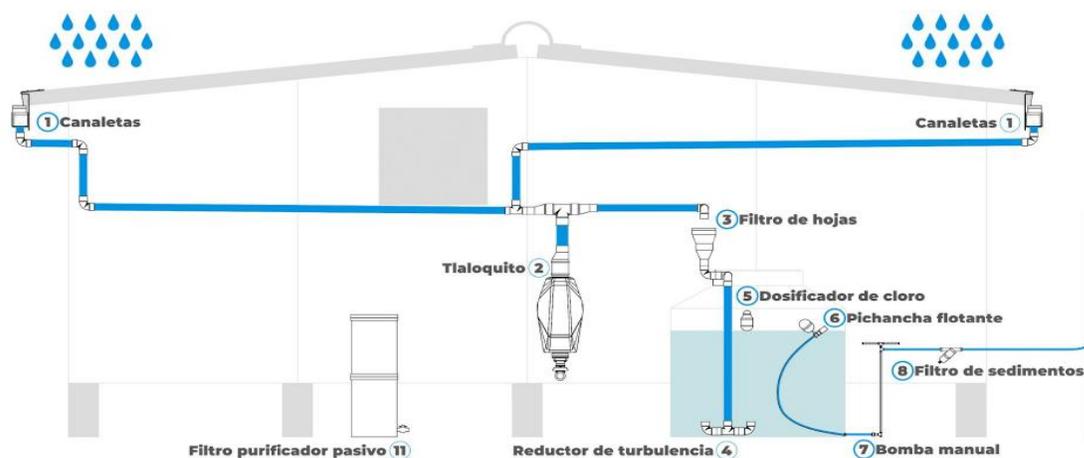
En función de estos dos valores, se debe determinar si existe o no un déficit hídrico, es decir determinar si el uso consuntivo del proyecto es mayor que la precipitación efectiva y de ser así en que porcentaje se podrá utilizar ésta última para suplir, si no toda, parte de la demanda de agua. (Reyes, 2014).

Modelo del Sistema de Aprovechamiento de Aguas Lluvia a Utilizar

Existe diversidad de sistemas de aprovechamiento de agua lluvia, dependiendo su función estos se pueden configurar de manera diferente según sus propiedades hidráulicas. (Gamarra, 2015). El sistema a utilizar en esta investigación es el modelo de sistemas con flujo desviado.

Figura 1

Guía de diseño para captación del agua de lluvia.



Fuente. Ganar, 2020

Componentes de un Sistema de Aprovechamiento de Aguas Lluvia

La captación de agua pluvial consiste en recolectar y almacenar el agua de lluvia para ser mejor aprovechada, ya que de lo contrario termina en el subsuelo o se va directo hacia el drenaje.

En zonas rurales, la lluvia sirve para regar cultivos y plantas, así como para proveer agua en bosques y selvas por lo que se podría decir que en estos ambientes es mejor aprovechada. Sin embargo, en las ciudades, el agua que cae termina por irse al drenaje en donde se mezcla con aguas de desecho y se contamina, volviéndose inútil para los seres humanos. (Castañeda, 2010).

La captación de agua de lluvia puede realizarse en cualquier lugar y representa una solución efectiva para los problemas de desabasto ya que se puede almacenar para ser utilizada posteriormente en el hogar. Además de ser una medida para aprovechar mejor los recursos naturales y desacelerar el cambio climático, la captación de agua pluvial también puede traer beneficios sustanciosos a la economía de una familia, ya que se puede ahorrar una fuerte cantidad de dinero en el pago de servicios. (Castañeda, 2010). Un sistema básico está compuesto por los siguientes componentes:

a) Captación

El sistema de captación de aguas es recomendable en zonas con limitaciones de disponibilidad de agua superficial. La captación de aguas lluvias es viable en zonas hidrológicamente secas, también es una alternativa factible para zonas húmedas como quiera que es común encontrar en el campo factores tales como corrientes de agua en depresiones profundas, fuentes situadas a gran distancia, problemas de linderos y servidumbre, carencia de energía eléctrica, alto costo y seguridad de los elementos y equipos alternos como bombas de agua y arietes hidráulicos, calidad del agua disponible y otros inconvenientes que conllevan al aprovechamiento de las aguas lluvias. (Satoque, 2014).

b) Recolección

Es el conjunto de canaletas adosadas en los bordes más bajos del techo, con el objeto de recolectar el agua lluvia y de conducirla hasta el sitio deseado. Las canaletas se deben instalar con

una pendiente no muy grande que permitan la conducción hasta los bajantes. El material de las canaletas debe ser liviano, resistente al agua y fácil de unir entre sí, a fin de reducir las fugas de agua.

c) Interceptor de Primeras Aguas

Es el dispositivo dirigido a captar las primeras aguas lluvias correspondientes al lavado del área de captación, con el fin de evitar el almacenamiento de aguas con gran cantidad de impurezas. En el diseño del dispositivo se debe tener en cuenta el volumen de agua requerido para lavar el techo y que se estima en 1 litro por m² de techo. Se debe tener en cuenta que el agua recolectada temporalmente por el interceptor, también puede utilizarse para el riego de plantas o jardines. El interceptor consta de un tanque, al cual entra el agua por medio de los bajantes unidos a las canaletas. El tanque interceptor debe contar con una válvula de flotador que permita su llenado, cuando éste alcance el nivel deseado, la válvula impedirá el paso del agua hacia el interceptor y la dirigirá hacia el tanque de almacenamiento. Adicionalmente debe tener una válvula de purga en la parte inferior del tanque para hacer el mantenimiento después de cada lluvia (Castañeda, 2010).

d) Almacenamiento:

Es el depósito destinado para la acumulación, conservación y abastecimiento del agua lluvia a los diferentes usos. La unidad de almacenamiento debe ser duradera y debe cumplir con las especificaciones siguientes:

- Impermeable para evitar la pérdida de agua por goteo o transpiración
- De no más de 2 m de altura para minimizar las sobre-presiones

- Con tapa para impedir el ingreso de polvo, insectos y de la luz solar
- Disponer de una escotilla con tapa lo suficientemente grande para que permita el ingreso de una persona para la limpieza y reparaciones necesarias
- La entrada y el rebose deben contar con mallas para evitar el ingreso de insectos y animales
- Dotado de dispositivos para el retiro de agua y el drenaje. Los tipos de tanques de almacenamiento de agua lluvia a ser empleados pueden ser construidos con los siguientes materiales:
 - Mampostería para volúmenes menores (100 a 500 L)
 - Ferro-cemento para cualquier volumen.
 - Concreto reforzado para cualquier volumen. (Castañeda, 2010).

e) Red de Distribución de Agua Lluvia (Sistema de Bombeo):

Esta red debe ir paralela a la red de acueducto, y debe llegar a los puntos hidráulicos donde se utilizará el agua lluvia, así que deberá protegerse la red de suministro de agua potable con una válvula de cheque para evitar que el agua lluvia se mezcle con el agua potable. El sistema de bombeo distribuirá el agua desde el tanque de almacenamiento hacia las unidades sanitarias requeridas. Se debe tener presente que la tubería de succión de la bomba debe estar al menos 50cm por encima del fondo del tanque para evitar el arrastre de material sedimentado. (Castañeda, 2010).

Determinación de los Regímenes de Precipitación a Partir de Datos Pluviométricos de las Estaciones Meteorológicas

Es el fenómeno meteorológico por el cual el agua, condensada o congelada, llega al suelo en forma de nieve, granizo, rocío y principalmente agua lluvia. La precipitación ocurre cuando el vapor de agua cambia de fase en el aire y cae como líquido o sólido a la superficie del suelo. (IDEAM, 2018) Todas las formas de precipitación se miden sobre la base de una columna vertical de agua que se acumularía sobre una superficie a nivel si la precipitación permanece en el lugar donde cae. La cantidad de precipitación se mide con un pluviómetro, dispositivo que cuenta con una probeta graduada, o con el pluviógrafo, que tiene una banda registradora en una escala de milímetros (mm) (IDEAM, 2018).

El proceso de cálculo del indicador parte de la disponibilidad de datos oficiales de precipitación reportados para las estaciones de monitoreo que conforman la red meteorológica de los países. El procedimiento implica la selección de la estación que se considera refleja de forma más adecuada las condiciones del área para la cual se calculará el indicador, en razón a que tiene el mayor número de las siguientes características: i) tecnología adecuada para capturar el dato, ii) genere datos precisos, iii) disponga de datos históricos que permitan análisis de series de tiempo, o iv) garantice su permanencia en el tiempo, entre otras (IDEAM, 2018). El proceso consiste en agregar los datos de precipitación contabilizados por una misma estación durante los lapsos de tiempo que cubran el período para el cual se desea calcular el indicador.

Estaciones Meteorológicas en la Ciudad de Cartagena.

El instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) adscrito al Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, así como el Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas (CIOH) adscrito al Ministerio de Defensa, son las instituciones

encargadas de la meteorología de Colombia y de la región del Caribe Colombiano respectivamente. El (IDEAM) pódese una red de estaciones meteorológicas a lo largo y ancho de Colombia, la estación más próxima al campus del CCAV Cartagena es la del Aeropuerto Rafael Núñez de la ciudad de Cartagena, esta se encuentra localizada con latitud $10^{\circ}26''$ N, longitud $75^{\circ}30''$ O con una elevación de 0.002 metros sobre el nivel del mar. Para determinar el caudal captado por las cubiertas del campus se hizo necesario conocer información de precipitaciones en la zona de estudio.

Metodología para Determinación de Caudales de Consumo de Aparatos Hidráulicos-Sanitarios.

Para la implementación de un sistema de aprovechamiento de agua lluvia según autores como Jones & Hunt (2010), se depende de tres factores: precipitación pluviométrica, área de captación y demanda. Pero se debe tener en cuenta que la puesta en marcha de estos sistemas muchas veces se ve limitada por los altos costos de construcción, siendo el tanque de almacenamiento el componente más costoso y limitante de espacio debido a su volumen. Para lo cual debe tener en cuenta los siguientes elementos:

Información Pluviométrica

El diseño seleccionado para nuestro caso es el diseño tipo CEPIS. El diseño según el método CEPIS requiere la información pluviométrica de la zona de estudio de 10 a 15 años consecutivos, debido a que el periodo de análisis de este método es mensual. De ahí que se hace necesario tener el registro de precipitaciones mensuales y así asegurar que el modelo cubra la demanda de agua lluvia requerida. Teniendo en cuenta los datos promedios mensuales de los

últimos 10 a 15 años se determinan los promedios mensuales de precipitación para el total de años evaluados, utilizando la ecuación (1):

$$Pp_i = \frac{\sum_{i=1}^n p_i}{n} \quad (1)$$

Donde:

Ppi: Precipitación promedio multimensual (mm/m2)

pi: Precipitación mensual de los diferentes meses recolectados en los diferentes años (mm)

n: Número de meses recolectados desde el i=1 hasta el mes n.

Modelo de Cálculos

El desarrollo del diseño se vale principalmente de la determinación de la demanda de agua y la oferta relacionada con la precipitación en la zona para poder calcular el volumen de almacenamiento del agua lluvia.

- **Demanda de Agua en el Mes “i” (Di)**

para determinar la demanda mensual de agua es necesario conocer el consumo total de las instalaciones del cead Cartagena de indias, dicho consumo se puede determinar mediante la factura de consumo de la empresa de aguas de Cartagena la cual es la que abastece del servicio de agua a las instalaciones, o a su vez, si no se cuenta con dicha información se podrá calcular a través de la ecuación (2).

$$D_i = \frac{Nu * Nd * Dot}{1000} \quad (2)$$

Donde,

Di: Demanda mensual (m3).

Nu: Número de personas.

Nd: Número de días del mes analizado.

Dot: Dotación (L/persona/día).

Demanda total por unidad sanitaria: Se calcula por medio de la ecuación 3, la cual se expresa como el producto entre el número de usuarios a abastecer, la dotación para cada persona (en este aspecto se tiene en cuenta la dotación estimada por Melguizo (1977), afectada por el 20% y el 5% correspondientes a los porcentajes de consumo de los sanitarios y lava escobas respectivamente, según la oficina administrativa y de manejo de servicios públicos de la institución, y el número de días al mes.

La siguiente ecuación sirve para determinar la demanda requerida únicamente para los sistemas sanitarios, ahora dicha ecuación afecta la ecuación de la demanda de agua por persona/día en un 20% correspondiente al consumo de esas unidades sanitarias, por ende, ese porcentaje está estimado por el Departamento Nacional de Planeación (Ballén Suárez, Galarza García, & Ortiz Mosquera, 2006).

$$D_i = \frac{Nu * Nd * Dot * 25\%}{1000} \quad (3)$$

Donde:

Di: Demanda de agua mensual a abastecer (L/mes)

Nu: Número de personas en la institución educativa (personas)

Nd: Número de días del mes analizado (días)

25%: Consumo adicional generado para la limpieza en áreas comunes (favor trabajarlo en parte decimal)

Dot: Dotación para población del centro (L/persona-día)

1000: Factor de conversión de L a m³

- **Oferta de Agua en el Mes “i” (A_i)**

Se obtiene de multiplicar la precipitación promedio, el coeficiente de escorrentía y el área a captar, la ecuación 4 es la relacionada para dicho caso. Autores como Abdulla y AlShareef, (2006), plantean que adicional a se debe estimar un porcentaje del 20% anual en pérdidas debidas a la evaporación, y a la misma captación y recolección del agua, por lo tanto, la oferta total se obtiene a partir de la ecuación 5. (Abdulla y AlShareef, 2006).

$$A_i = \frac{Pp_i * Ce * Ac}{1000} \quad (4)$$

Donde:

A_i: Abastecimiento correspondiente al mes “i” (m³)

Pp_i: precipitación promedio mensual (mm/m²)

Ce: coeficiente de escorrentía

Ac: área de captación (m²)

1000: Factor de conversión de mm a m

$$A'_i = A_i - \left(A_i * \frac{0,2}{12} \right) \quad (5)$$

Donde:

A_i: Abastecimiento correspondiente al mes “i” (m³)

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

- **Demanda y Oferta Acumulada**

Es el cálculo de la sumatoria de los valores del mes actual más el anterior, como se puede apreciar en las ecuaciones 6 para el cálculo de la demanda acumulada y 7 para el cálculo de la oferta acumulada, respectivamente.

$$D_{ai} = D_{a(i-1)} + D_i \quad (6)$$

Donde:

Dai: Demanda Acumulada de agua mensual al mes a abastecer (m3/mes)

Da(i-1): Demanda Acumulada de agua mensual al mes anterior a abastecer
(m3/mes)

Di: Demanda de agua mensual actual a abastecer (m3/mes)

$$A_{ai} = A_{a(i-1)} + A'_i \quad (7)$$

Donde:

Aai: Abastecimiento Acumulado neto correspondiente al mes actual “i” (m3)

Aa(i-1): Abastecimiento Acumulado neto correspondiente al mes anterior “i-1”
(m3)

A'i: Abastecimiento neto correspondiente al mes “i” (m3)

- **Volumen de Almacenamiento**

Se halla restando la oferta acumulada con la demanda acumulada, como se muestra en la ecuación 8.

$$V_i = A_{ai} - D_{ai} \quad (8)$$

Donde:

Vi: Volumen de almacenamiento (m3)

A'ai: Abastecimiento Acumulado neto correspondiente al mes actual “i” (m3)

Dai: Demanda Acumulada de agua mensual al mes a abastecer (m3/mes)

- **Interceptor de Primeras Aguas**

Este dispositivo recolecta los mm de precipitación que llegan inicialmente al sistema de captado de aguas lluvia, las cuales son gotas primarias que caen al techo de las instalaciones en investigación y hacen una limpieza del mismo, llevándose consigo todas las impurezas y suciedad que este tenga, por ende, es necesario desviar estos primeros mm de precipitación para no afectar la calidad de las aguas recolectadas. Su diseño, de acuerdo con los parámetros establecidos en la metodología del CEPIS, 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 de la siguiente manera:

$$V_{int} = \frac{1 \frac{L}{m^2} * A_{techo}}{1000} \quad (9)$$

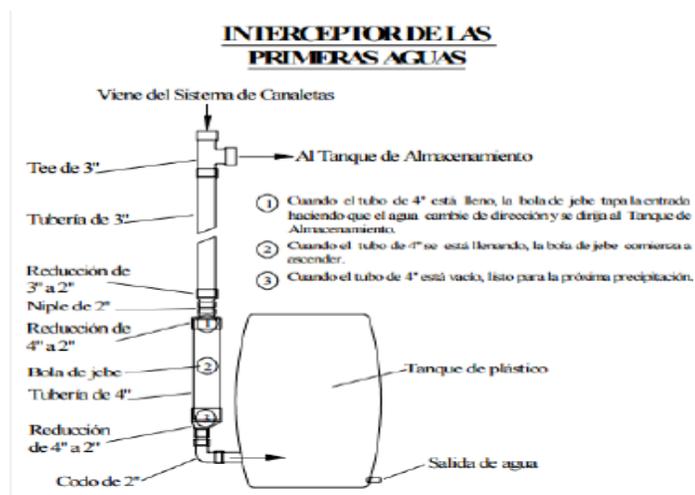
Donde:

Vint: Volumen del interceptor (m3)

Atecho: Área del techo a captar (m2)

Figura 2

Ejemplo de un interceptor de primeras aguas.



Fuente. Benavides y Arévalo, 2017.

- **Potencial de Ahorro de Agua Potable**

Como su nombre lo indica es la capacidad que posee el sistema de ahorrar el agua potable utilizada en las funciones del centro universitario, este ahorro se puede calcular mediante la siguiente ecuación determinada por los autores Ghisi, Lapolli y Martini, (xxx).

$$PPWS = 100 * \frac{VR}{PWR} \quad (10)$$

Donde:

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

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

PWD ó Di: Demanda mensual de agua potable (m³/mes).

Para ser coherentes con la metodología propuesta por el CEPIS, la cual contempla la acumulación del agua en el tanque de almacenamiento, de acuerdo a su consumo, el potencial se debe determinar con los volúmenes acumulados, es decir, la oferta acumulada de agua lluvia posible de ser recolectada, sobre la demanda acumulada. De esta manera en la ecuación 10, VR cambia por Aai y PWD cambia a Dai. (Castañeda, 2010).

- **Red de Distribución de Agua Lluvia**

La red de distribución se realiza por varios métodos, en nuestro caso se utilizará el método de corteza total, explicado por el autor Melguizo (S.f), este método nos dice que en un tiempo determinado se podrá tener una certeza de que todos los aparatos sanitarios de un establecimiento estarán en funcionamiento.

Para dicho caso, el cálculo de los caudales y los diámetros de cada tramo, se hará por medio del Gasto Máximo Posible, el cual se encuentra con la ecuación

$$\text{gasto maximo posible} = Q_i * n \quad (11)$$

Donde:

Q_i : Caudal instantáneo de cada aparato sanitario (L/s)

n : Número de aparatos comunes.

Teniendo en cuenta los cálculos realizados por Gamarra (2015), podemos determinar los caudales instantáneos y diámetros para cada aparato sanitario comúnmente utilizados en instalaciones colectivas como escuelas, universidades y centros amplios, los cuales se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 1

Caudales instantáneos y diámetros para cada aparato sanitario

<i>Aparato</i>	<i>Caudal Q_i (L/s)</i>	<i>Diámetro (pulgadas)</i>
Bañera	0,30	3/4
Calentador	0,30	3/4
Ducha	0,25	1/2
Tanque de inodoro	0,15	1/2
Inodoro fluxómetro	2,50	1 1/2
Lavadero	0,20	1/2
Lava-escoba	0,30	1/2
Lavamanos	0,10	1/2
Lavaplatos	0,20	1/2
Lavadora	0,25	1/2
Orinal sencillo	0,15	1/2
Orinal fluxómetro	1,50	3/4

Nota: Adaptado de caudales instantáneos y diámetros para cada aparato sanitario. *Fuente*. Castañeda, 2010.

- **Sistema de Bombeo**

En el siguiente apartado se abordarán los cálculos para determinar las características del sistema de bombeo siguiendo los procedimientos de Castañeda (2010), en los cuales se calcula el

material y características de la bomba, el motor, la tubería de impulsión y de succión; así como las cotas entre los puntos de inicio (tanque de almacenamiento) y llegada (unidad sanitaria más alejada). (Castañeda, 2010). Los principales parámetros a tener en cuenta son:

- I. Caudal a bombear (Q_b)
- II. Tiempo de bombeo diario
- III. Temperatura media del agua (T)
- IV. Aceleración de la gravedad (g)
- V. Número de bombas
- VI. Coeficiente de Hazen-Williams (C)
- VII. Altura sobre el nivel del mar de la bomba (H_{snm})
- VIII. Densidad del agua a la temperatura indicada (ρ)
- IX. Densidad del agua a 4°C (ρ_r)
- X. Tipo de bomba

Para determinar el sistema de bombeo se calcularán los siguientes ítems

- I. Cálculo de la tubería de succión
- II. Chequeo de la tubería de impulsión
- III. Cálculo de la altura dinámica total
- IV. Altura dinámica total en la impulsión
- V. Características de la bomba
- VI. Potencia del motor de la bomba
- VII. Verificación de la cavitación en el sistema
- VIII. Golpe de Ariete

- **Análisis Financiero**

El análisis financiero nos acerca de una forma sencilla y real, al conocimiento de su viabilidad para ser concebido o ejecutado un proyecto. Para el caso del diseño óptimo de los requerimientos de infraestructura para el aprovechamiento de las aguas lluvias involucra la realización de diversos escenarios viables. Dado lo anterior, una primera selección debe estar basada en los posibles comportamientos que cada infraestructura tendría de acuerdo a los análisis técnicos. Seguidamente, cada nueva selección deberá efectuarse con base en condiciones financieras, convirtiéndose esto en un elemento decisivo para la toma de decisiones, dado que es la herramienta clave para elegir si el proyecto es viable o no desde el punto de vista financiero pues es un hecho que el aprovechamiento de aguas lluvias, requiere de una importante inversión inicial, aunque la operación y el mantenimiento no implican un gasto alto en el tiempo. Los elementos de mayor impacto financiero generalmente corresponden a la construcción de la infraestructura como el tanque del almacenamiento, la planta de tratamiento, excavaciones y otros costos de tipo indirecto, por lo anterior es de suma importancia conocer los costos asociados a la realización de la propuesta general y también reconocer su comportamiento a futuro, puesto que a simple vista no son conocidas las consecuencias o beneficios de este diseño. (Arévalo, 2017).

- **Periodo de Recuperación:**

En el análisis de viabilidad del proyecto, la generación potencial de ingresos es un factor fundamental para ser evaluado, sea por medio del análisis de los activos que puede traer consigo o mediante aquel ahorro que puede generar la puesta en marcha de la propuesta. En este caso en particular, el análisis puede efectuarse de acuerdo a la Tasa Interna de Retorno (TIR) ó al período de recuperación de la inversión y teniendo como referencia los valores tarifarios existentes que

utiliza diferentes, analizando de igual forma, los beneficios económicos que pudieran derivarse para la entidad. La Fórmula para la estimación del periodo de recuperación, se puede apreciar en la ecuación 12. (Arévalo, 2017).

$$\textit{Periodo de recuperación} = \frac{\textit{Costos iniciales}}{\textit{Ahorros anuales}} \quad (12)$$

Metodología

Se tendrá en cuenta información secundaria de trabajos similares realizados por otros autores referentes al diseño de sistemas de abastecimiento de aguas lluvias. Así como; los regímenes de precipitación a partir de datos pluviométricos de las estaciones meteorológicas en la ciudad de Cartagena.

Además, se deberá recopilar información primaria para la recolección de datos reales que garanticen la eficacia, eficiencia y efectividad del Sistema de Abastecimiento de Aguas Lluvias.

(Factura de los recibos del acueducto, datos del consumo de agua de baterías sanitarias

Caso de Estudio

Esta investigación se desarrolló en el CEAD Cartagena de Indias el cual es el centro de atención de la universidad nacional abierta y a distancia en el municipio de Cartagena de Indias en el departamento de bolívar, de la localidad del barrio el Paraguay, con dirección Tv 45A, Cartagena de Indias, Provincia de Cartagena, Bolívar. Este sector es categorizado como estrato 2. Este centro se encuentra a 20 metros sobre el nivel del mar. En la siguiente figura se representará su ubicación con uso de la plataforma Google Earth.

Figura 3

Ubicación del CEAD Cartagena de Indias.



Fuente. Google Earth, 2022

Diseño de Investigación

Esta investigación aplicada es de tipo descriptivo, con un enfoque cuantitativo, alineadas a los objetivos del proyecto y al cronograma de actividades. Los resultados esperados están en función de diseñar un sistema alternativo de aprovechamiento de aguas lluvias para abastecer parte del consumo de los aparatos hidráulico-sanitarios del CCAV Cartagena. El cual se dividirá en las siguientes etapas:

Fase 1 – Adquisición de la Información y Planificación de las Actividades del Proyecto.

En esta primera etapa, el grupo de trabajo se encargará de revisar y consultar en todas las fuentes disponibles los datos de campo, resultados y conclusiones de las investigaciones que se han realizado a nivel mundial en lo referente a aprovechamiento de aguas lluvias, especialmente en edificaciones con grandes cubiertas, y a nivel nacional se dará suma importancia y profundidad en el análisis a las que se hayan llevado a cabo en cualquier tipo de centro educativo. Nótese que esta etapa es fundamental para el buen desarrollo del proyecto y por tanto tendrá la mayor duración e inversión de recursos. Durante esta fase se llevarán a cabo las actividades que se listan a continuación:

- Consulta a bases de datos virtuales.
- Visita y consultas web a entidades encargadas relacionadas con variables ambientales, meteorológicas y de servicios públicos como universidades nacionales, el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM local, el Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas-CIOH de la ciudad de Cartagena, las corporaciones autónomas regionales, tales como Establecimiento Público Ambiental-EPA de Cartagena, Corporación autónoma regional del Canal del Dique-CARDIQUE, Aguas de Cartagena, entre otras,

- Adquisición de la información pluviométrica y de planos récords necesarios para adaptar el proyecto a las condiciones requeridas
- Consulta de programas o herramientas computacionales que manejen este tipo de investigaciones a nivel nacional e internacional.

Recopilación de Información:

La recolección de información no tiene un método específico; se trata de indagar en las entidades antes mencionadas y solicitar la facilitación de la información. Como es de suponerse, todo lo consultado debe estar relacionado con el problema en estudio a nivel local o universal. En esta etapa se realizará la debida recolección de la información preliminar, ha consultar a través de textos, artículos y publicaciones en Internet, que estén relacionados con la evolución que han tenido las fuentes de aprovechamiento de aguas lluvias y su reutilización en aparatos hidráulico-sanitarios, incluyendo los últimos adelantos que se han alcanzado en este campo, los cuales han creado en los investigadores conceptos y criterios sólidos para la realización del estudio. Una vez se tenga cualquier documento relacionado con el tema en estudio, se procederá a codificarlo para llevar un registro ordenado de todas las referencias consultadas. Buscando facilitar el análisis del documento, se llenará un formato previamente establecido. Este permite sintetizar la esencia del documento y extraer la información necesaria para adelantar la investigación, y estarán encaminadas para definir las variables que intervienen en los sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias. Estos factores serán determinantes para establecer las recomendaciones y sugerencias encaminadas a calcular los volúmenes disponibles de agua lluvia a partir de las precipitaciones en la zona y evaluar el consumo de los aparatos hidráulico-sanitarios que se generan sobre las cubiertas del CCAV Cartagena que aportaran a la hora de cumplir el tercer objetivo.

Fase 2 – Trabajos de Campo y Recopilación de Información Ambiental, Meteorológica y de Servicios Públicos.

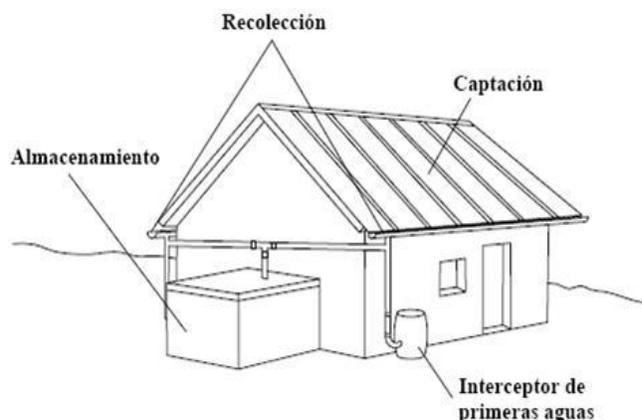
Los trabajos de campo y de recopilación de información ambiental, meteorológica y de servicios públicos serán planificados teniendo en cuenta las referencias las metodologías descritas por los sistemas de recolección de agua lluvia en los tres componentes: captación, conducción y almacenamiento de autores como Abdulla y AlShareef, (2006), Water Texas Development Borrad, (2005) y el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente- CEPIS, Organización Panamericana de la Salud y Organización Mundial de la Salud (2004), como sigue:

- **Componentes del Sistema de Aprovechamiento de Aguas Lluvias en Edificaciones:**

Los componentes utilizados para el desarrollo del diseño son: captación, recolección y conducción, interceptor de primeras aguas, almacenamiento, red de distribución y bombeo, sin contemplar el consumo humano como uso principal del agua lluvia captada y depende de la precipitación de la zona, como se puede apreciar en la **figura 4**.

Figura 4

Sistema típico de captación de agua lluvia en techos.



Fuente: CEPIS, 2004

- **Información Pluviométrica:**

La información será recolectada de precipitación para el distrito de Cartagena de Indias en las diferentes estaciones meteorológicas del IDEAM para la ciudad, así como también para el CIOH. Los datos analizados corresponden a los datos históricos que se suministren y con una recopilación de la información durante los primeros doce (12) meses del proyecto, periodo mínimo recomendado, según el CEPIS (2004), para realizar el diseño.

- **Modelo de Cálculos:**

Para determinar el volumen de almacenamiento que es el parámetro más importante dentro del diseño, se debe calcular primero la precipitación promedio mensual, la demanda total y acumulada y la oferta total y acumulada. Luego de obtener dicho volumen, se calcula el porcentaje de ahorro de agua potable. Así, los parámetros básicos que se tuvieron en cuenta para el desarrollo del diseño, fueron los siguientes:

- I. Número de personas en la institución educativa (Nu): A partir del promedio de los últimos 5 años del funcionamiento del CCAV Cartagena, se debe tener en cuenta que durante las épocas de vacaciones universitarias o periodos de baja asistencia a las instalaciones del centro.
- II. Tipo de material del área de captación: Dependerá de las cubiertas y lo descrito en los planos records del diseño arquitectónico y de ingeniería de detalles del CCAV Cartagena.
- III. Coeficiente de escorrentía (Ce): Consultado a partir del documento de CEPIS (2004).
- IV. Dotación para población del centro (Dot): Sera a partir de las recomendaciones de Melguizo (1977).

- V. Área de captación (Ac): Dependerá de las cubiertas y lo descrito en los planos récords del diseño arquitectónico y de ingeniería de detalles del CCAV Cartagena, pues si se capta la totalidad del área útil de las cubiertas, con los volúmenes de almacenamiento en caso tal que sean mucho mayores a los requeridos de acuerdo con la demanda y habría un sobredimensionamiento del sistema.

Fase 3 –Análisis de los Resultados y Cumplimiento de Objetivos.

Esta será la etapa final del proyecto se procederá a responder la pregunta de investigación, probar la hipótesis planteada, satisfacer los objetivos propuestos, para tal efecto se tendrá en cuenta las fases 1 y 2 que permitieran Analizar el costo-beneficio producto del diseño del sistema de recolección, almacenamiento y distribución de las aguas lluvias para compensar el impacto económico del consumo promedio de los aparatos hidráulico-sanitarios del CCAV Cartagena. Se desarrollarán las actividades nombradas a continuación:

- Integración de la información obtenida durante las consultas y prueba de la hipótesis
- Respuesta a las preguntas de investigación y establecimiento de las conclusiones y recomendaciones
- Análisis de los resultados
- Elaboración del informe final, presentaciones del artículo y ponencia

Resultados y Análisis de Resultados

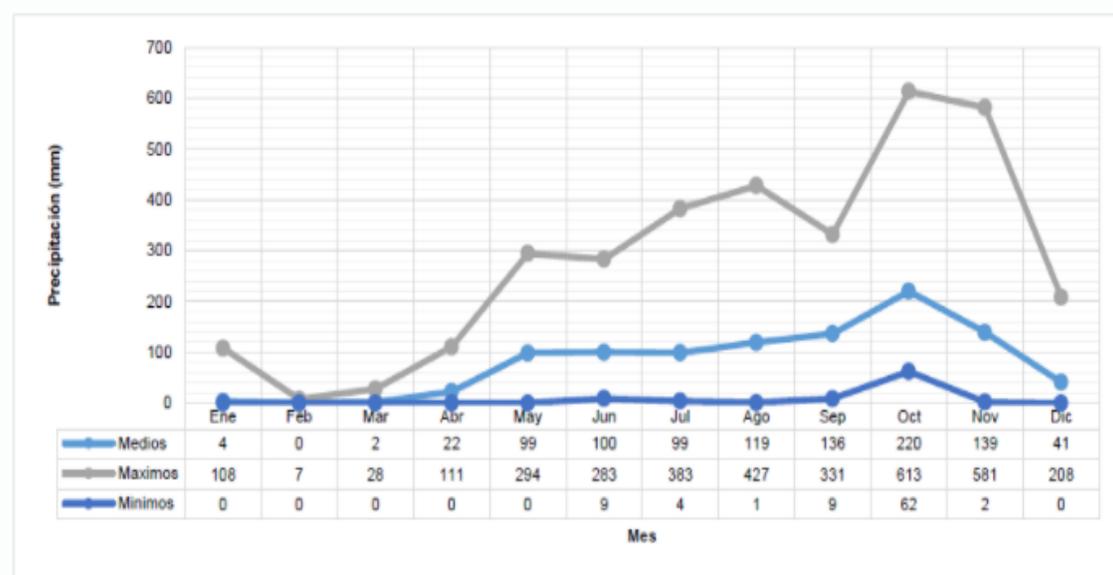
Cartagena de indias es uno de los municipios más importante en materia portuaria, naval y aeronáutico del norte de Colombia, por ende, es de vital importancia conocer el estado del clima y las precipitaciones mensuales del municipio, según datos del IDEAM y del EPA Cartagena, debemos analizar que el régimen de precipitaciones de Cartagena se divide en cuatro periodos:

- Época seca mayor: Comprendida entre los meses de diciembre a abril. Caracterizada por la presencia de vientos Alisios del noreste de mayor intensidad con lluvias muy escasas o nulas.
- Época lluviosa menor: Va desde el mes de mayo hasta junio. En esta época los vientos Alisios se han debilitado.
- Época seca menor (veranillo de San Juan): Sucede entre los meses de julio y agosto. Se caracteriza por la irregularidad de las lluvias y los vientos, los cuales no sólo varían su intensidad sino su dirección predominando los vientos Norte – Noreste cuya intensidad aumenta hacia el mes de julio (IHSA, 2014; p.97).
- Época de lluvia mayor: Va desde el mes de septiembre a noviembre. Periodo de mayor proporción de lluvias y menos intensidad de los vientos (IHSA, 2014; p.97).

A su vez, Teniendo en cuenta que el clima de Cartagena es cálido – seco. Las precipitaciones estimadas de lluvias para la ciudad de Cartagena tomadas como referencia las estaciones IDEAM del Aeropuerto Rafael Núñez que se tienen estadísticas registradas durante los últimos años se presentan en la figura 5

Figura 5

Promedio de las precipitaciones mensuales de aguas lluvia en la ciudad de Cartagena



Fuente. EPA, 2022

Analizando la información encontrada se observa que en los meses de enero, febrero y marzo son los meses de menores precipitaciones, siendo el mes de febrero el de menor precipitación encontrada, teniendo precipitaciones en promedio de 7mm mensuales durante los últimos 10 años registrados. A su vez, los meses de mayores precipitaciones son el mes de septiembre, octubre y noviembre, siendo el mes de octubre con la mayor precipitación encontrada durante todo el año teniendo una precipitación promediada de 613 mm mensuales durante los últimos años.

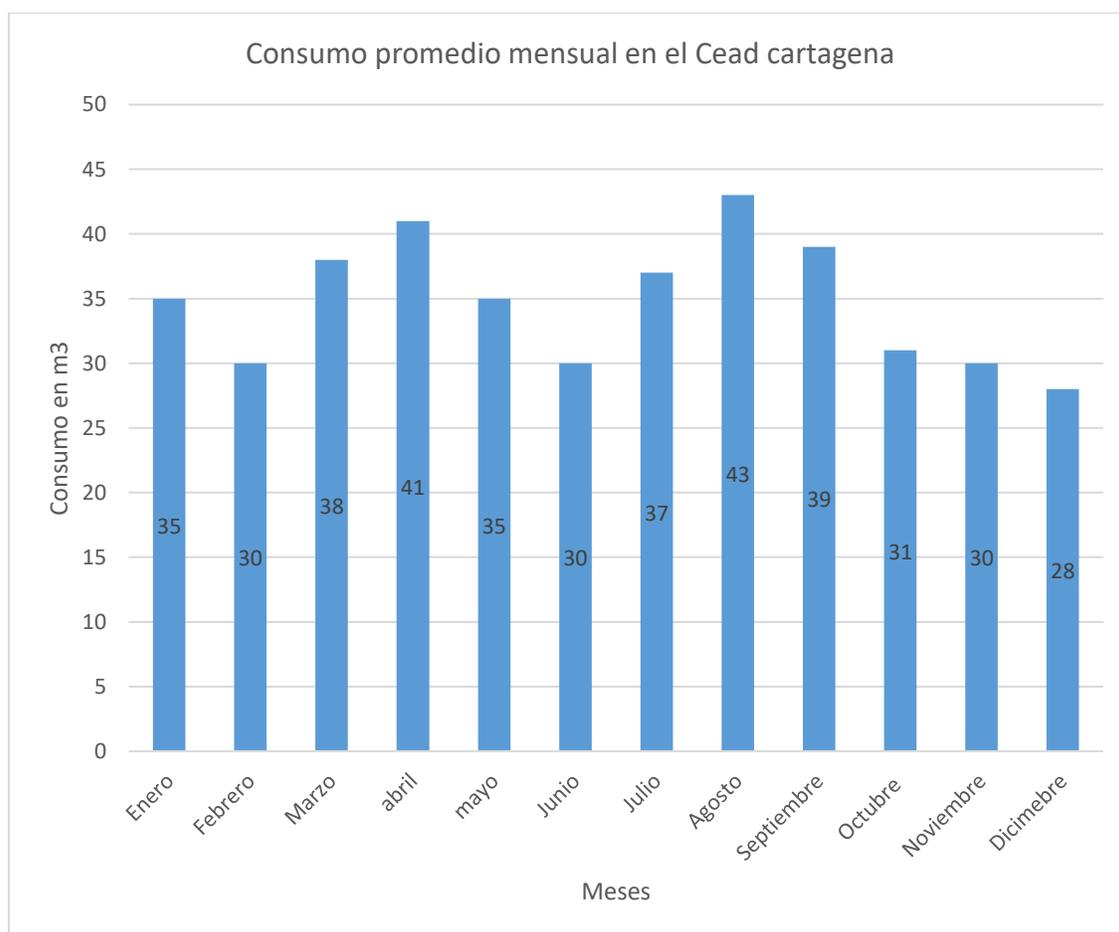
Teniendo en cuenta la anterior información procederemos a demostrar los resultados obtenidos en los cálculos para determinar los componentes del sistema, la información sobre las condiciones meteorológicas de precipitaciones, demanda del centro en gasto hídrico y posibles costo beneficio del sistema propuesto mediante la metodología propuesta anteriormente.

Valores de Consumo y Costo de Agua Potable en el CEAD Cartagena de Indias

Realizando una exhaustiva investigación y recopilación de información privada sobre el consumo del CEAD Cartagena de Indias se pudo determinar el consumo mensual de dicho centro educativo durante los meses de enero a diciembre del 2021 los cuales se muestran a continuación

Figura 6

Consumo promedio mensual del CEAD Cartagena de Indias.



Fuente. autores

Ahora, los valores de consumo y costo de agua potable para la institución evaluada son los siguientes.

Tabla 2

Valores de consumo y costo de agua potable, de los últimos siete (12) meses, en el CEAD Cartagena de Indias.

Meses	Consumo de agua potable en m ³	Costo del agua por metro cubico (\$)	Costo por consumo de agua potable (\$)
Enero	35	2209	77315
Febrero	30	2209	66270
Marzo	38	2209	83942
abril	41	2209	90569
mayo	35	2209	77315
Junio	30	2209	66270
Julio	37	2209	81733
Agosto	43	2209	94987
Septiembre	39	2209	86151
Octubre	31	2209	68479
Noviembre	30	2209	66270
Diciembre	28	2209	61852
Promedio	34,75	2209	76762,75

Fuente. Elaboración propia con datos de aguas de Cartagena. Enero de 2022

Cabe resaltar que el centro de atención (Cead Cartagena) es un centro de atención presencial de una universidad virtual por lo que el aforo de personas que ingresan a la misma es menor a una sede de una entidad universitaria de formación presencial.

Precipitación Promedio Mensual (Ppi)

Para el cálculo de la Precipitación promedio mensual o (Ppi), se deben tener en cuenta que la precipitación promedio mensual que se va a calcular es sin tener en cuenta la evaporación, dicha precipitación es expresada en mm y equivale a la precipitación promedio mensual en litros por metro cuadrado, pues se requiere de 1mm de agua para mojar 1m² de área. (Castañeda, 2010). Los valores obtenidos se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3

Precipitación promedio mensual (Ppi), alrededor del CEAD Cartagena de Indias.

Meses	Promedio de mm de lluvia
Enero	108
Febrero	7
Marzo	28
Abril	111
Mayo	294
Junio	283
Julio	383
Agosto	427
Septiembre	331
Octubre	613
Noviembre	581
Diciembre	208

Fuente. Elaboración propia según datos pluviométricos de la Estación aeropuerto Rafael Núñez, Cartagena, años 1944-2016.

Los datos encontrados demuestran que el mes en el que menos caen precipitaciones es el mes de febrero rondando los 7 mm en promedio y el mes que más precipitaciones se presentan es el mes de octubre con 613 mm en promedio.

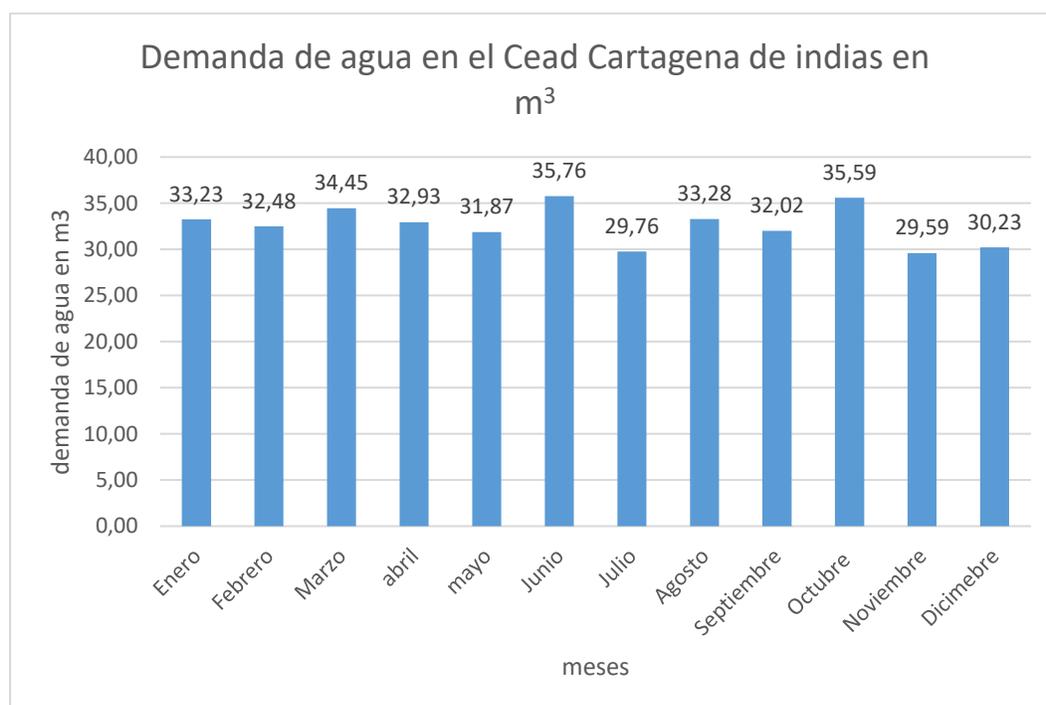
Para los cálculos de los parámetros mencionados en el marco teórico es de vital importancia conocer el área de captación de aguas lluvias, para la definición del área de captación se realizó una modelación del tejado del CEAD Cartagena de Indias por medio del programa Qgis para determinar el área del tejado, Las áreas de los techos a captar, son mostradas en la figura 7. La determinación de los demás cálculos como la demanda acumulada, la oferta acumulada entre otros, se realizó según el procedimiento descrito anteriormente en la sección del marco teórico. A continuación, se presentan los resultados obtenidos.

Demanda de Agua en el Mes “i” (Di)

Para calcular la demanda de aguas en el mes, fue necesario el cálculo del aforo de personal que atiende el centro universitario, la referencia del consumo por persona o Dot propuesta en la metodología del CEPIS referente a 4 litros diarios por personas y el número de días del mes analizado, en la tabla 4 se muestran los datos y en la figura 7 se muestran los resultados obtenidos

Figura 7

Demanda de agua en el Cead Cartagena de indias.



Fuente. autores

Se puede observar que en los meses donde existe una mayor demanda de metros cúbicos de aguas en el CEAD Cartagena de Indias son los meses de junio y octubre.

Oferta de Agua en el Mes “i” (Ai)

Para calcular la oferta de agua. Fue necesario definir el área de captación, para tal fin se realizó una modelación del tejado del Cead Cartagena de indias por medio del programa Qgis para determinar el área del tejado. Determinar el coeficiente de esorrentía que en nuestro caso es 0,9 por ser tejas de arcilla y las precipitaciones promedio mensual (L/m^2). Cabe resaltar que estos valores se determinan teniendo en cuenta la evaporación, según lo recomendado por Castañeda (2010). Los resultados se muestran en la figura 9.

- **Área de Captación**

Modelando con el programa Qgis, encontramos que el área de captación es de $845,02 m^2$ como lo muestra la figura 8.

Figura 8

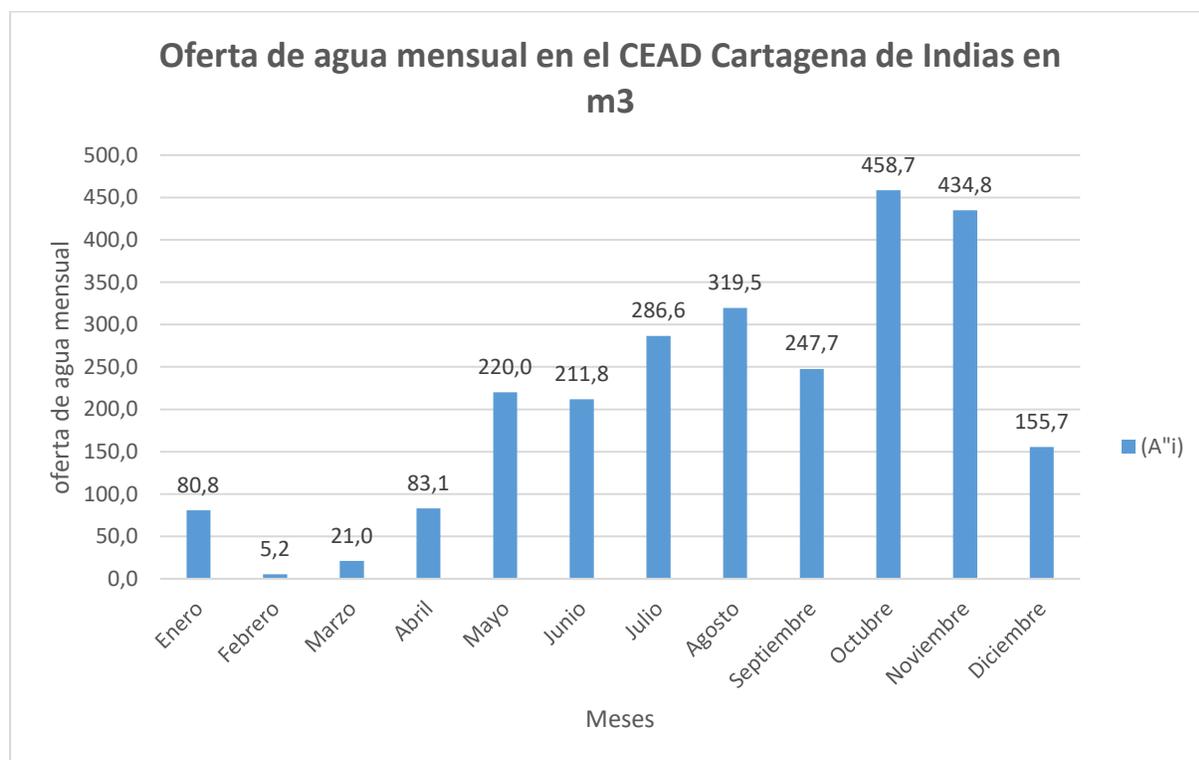
Área del tejado del CEAD Cartagena de Indias con modelación de Qgis.



Fuente. autores

Figura 9

Oferta de agua mensual en el CEAD Cartagena de Indias.



Fuente. autores

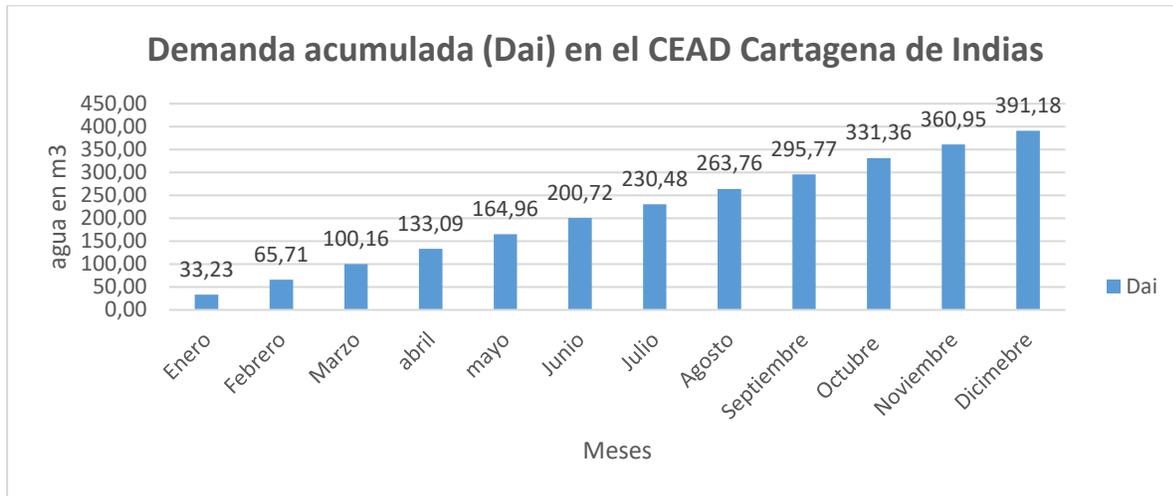
Como se observa en la figura 9, el mes donde hay mayor captación de aguas lluvia es el mes de octubre y el mes donde menos se capta aguas lluvia es el mes de febrero. Dichos cálculos se realizaron teniendo en cuenta la evaporación del 20% del agua captada.

Demanda Acumulada (Dai)

La Demanda acumulada (Dai) se calculó según la ecuación 6, los resultados se muestran a continuación

Figura 10

Demanda acumulada (Dai) del CEAD Cartagena de Indias.



Fuente. autores

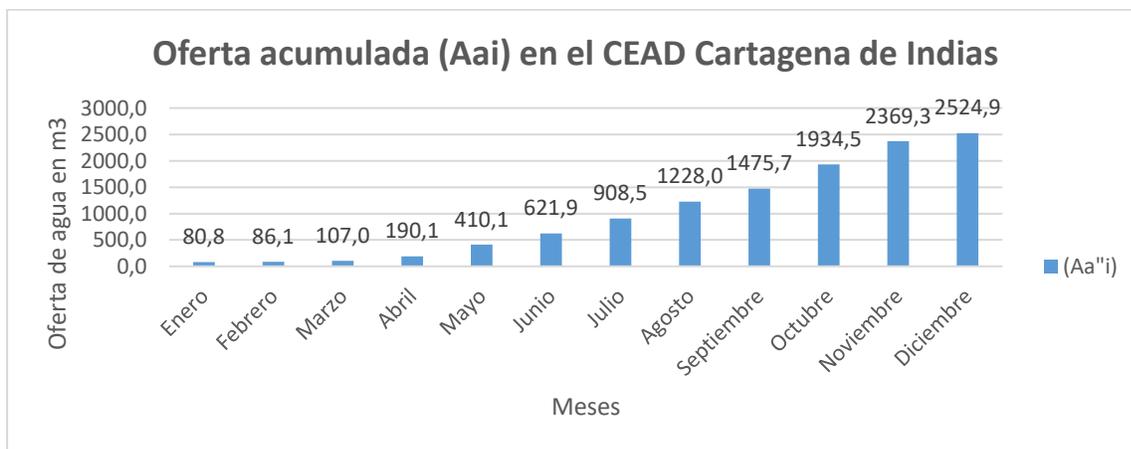
Se puede observar que la demanda acumulada Dai va en aumento como es lo esperado en este caso, debido a que con el pasar de los meses la acumulación de metros cúbicos necesario para el funcionamiento del Cead es mayor.

Oferta Acumulada (Aai).

Se calcula por medio de la ecuación 7. Los resultados se muestran en la siguiente figura

Figura 11

Oferta acumulada (Aai) en el CEAD Cartagena de Indias.



Fuente. autores

Volumen de Almacenamiento (Vi).

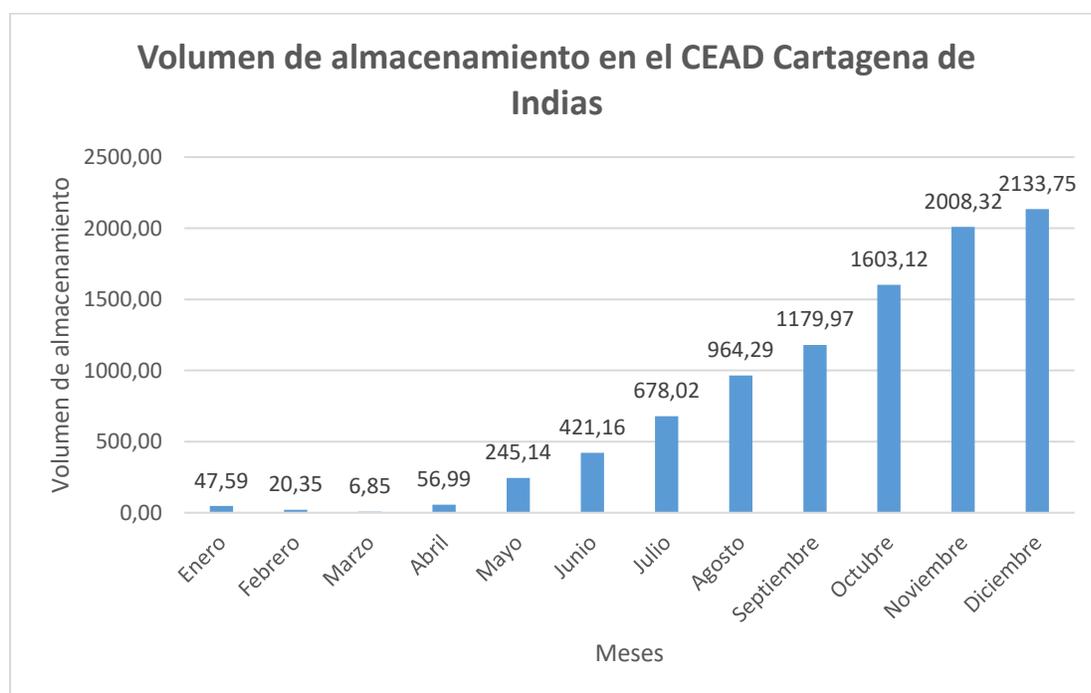
Se calculó por medio de la ecuación 8, para dicho procedimiento se procede a seguir lo planteado por Castañeda (2010), el cual nos refiere que

“Para conocer el volumen necesario de almacenamiento se debe encontrar la diferencia entre la oferta acumulada y la demanda acumulada 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.”

(Castañeda, 2010). Los resultados se muestran a continuación

Figura 12

Volumen de almacenamiento en el CEAD Cartagena de Indias.



Fuente. autores

Como se puede observar en la figura 12, el volumen ideal de almacenamiento es de 2133,75 metros cúbicos (m^3), por lo que sería necesario para almacenar la cantidad de agua del sistema planeado dos tanques de 1000 (m^3), conectados en serie con una

válvula de nivel y una válvula de desagua para mantener el nivel por debajo de los 2000 (m³), esto con referencia a que el centro universitario en el mes que más gasta agua es el mes de junio siendo un total de 35,76 (m³).

En cuanto a la construcción del tanque, la propuesta es construir un tanque enterrado de 300m³ en concreto reforzado, en la zona aledaña a la edificación para facilitar la recolección y llenado del mismo, zona ubicada en el patio de la Institución, este tanque de concreto deberá ser cubierto de manera que no interfiera con las actividades que se realizan en dicho patio. A su vez, teniendo en cuenta los parámetros ya mencionados, deberá poseer una profundidad útil de agua de 3.0m para evitar sobrepresiones, por lo tanto, las dimensiones del tanque rectangular serían 12m ancho x 18.75m largo x 3.0m profundidad, más 0.5m de borde libre sobre el nivel del agua.

Interceptor de Primeras Aguas

Para el cálculo del Interceptor de primeras aguas, se determinó el volumen por medio de la ecuación 9. Su diseño se determinó de acuerdo con los parámetros establecidos en la metodología del CEPIS, el cual establece que se requiere un litro de agua lluvia para lavar un metro cuadrado del techo, es decir que el volumen del tanque interceptor. Los resultados se muestran a continuación

$$V_{int} = \frac{1 \frac{L}{m^2} * A_{techo}}{1000}$$

$$V_{int} = \frac{1 \frac{L}{m^2} * (845,02m^2)}{1000}$$

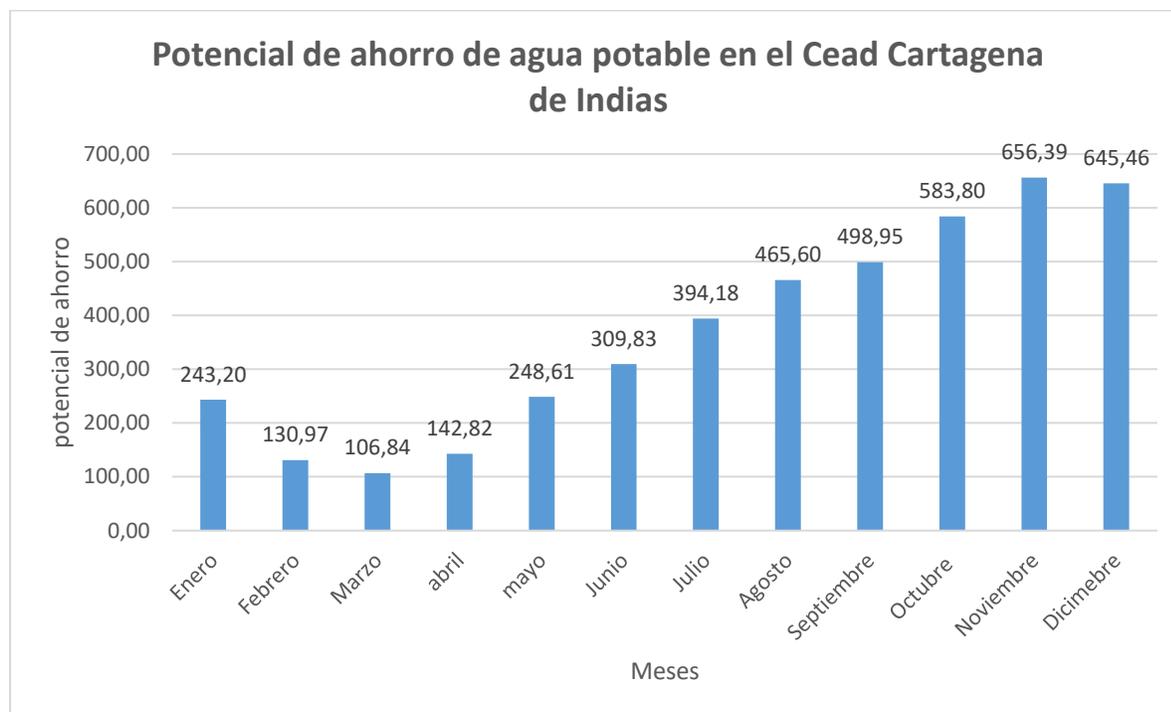
$$V_{int} = 0,845m^3$$

Potencial de Ahorro de Agua Potable

Para el cálculo del potencial de ahorro de agua potable se realizaron los cálculos según la ecuación 10. Los resultados se muestran a continuación

Figura 13

Potencial de ahorro de agua potable en el CEAD Cartagena de Indias



Fuente. autores

Red de Distribución de Agua Lluvia

Para determinar la red de distribución es necesario conocer los caudales instantáneos y diámetros para cada aparato sanitario con que cuenta el centro universitario Cead Cartagena de indias, los cuales se muestran en la tabla 4. Cabe resaltar que se usa los datos propuestos por Castañeda (2010) para determinar los caudales de dichos aparatos sanitarios.

Tablas 4*Distribución de aparatos sanitarios del Cead Cartagena de Indias*

aparatos sanitarios	n	caudal, Qi
Orinales	9	0,15
Lavamanos	12	0,1
Inodoros	14	0,15

Fuente. autores

Para determinar el gasto máximo posible de cada aparato sanitario fue necesario el uso de la ecuación 11, enmarcada en el marco teórico del presente trabajo, los resultados se muestran a continuación en la tabla 5.

Tabla 5*Gasto máximo posible por aparatos sanitarios*

aparatos sanitarios	Número de aparatos	caudal, Qi en (L/S)	Gasto Máximo Posible
Orinales	9	0,15	1,35
Lavamanos	12	0,1	1,2
Inodoros	14	0,15	2,1

Fuente. autores

En la siguiente tabla se realiza un resumen estructurado sobre los resultados de los cálculos anteriormente planteados para la determinación de los parámetros mencionados en el marco teórico, y lograr obtener adecuadamente el volumen de almacenamiento de agua lluvia y el potencial de ahorro de agua potable, según la metodología del CEPIS. La oferta de agua lluvia se determinó por medio del área de captación de 845,02 m², el cálculo de la demanda acumulada y

de la oferta acumulada se realizó según el procedimiento descrito anteriormente en las ecuaciones 6 y 7 respectivamente, en el que la diferencia entre estos dos parámetros arroja los valores del volumen almacenado durante cada mes. A continuación, se presentan los resultados obtenidos.

Tabla 6

Resumen de los cálculos

Meses	Promedio de mm de lluvia	Di	(A"i)	Dai	(Aa"i)	(Vi)	Vint (m3)	PPWS (%)
Enero	108	33,23	80,8	33,23	80,8	47,59	0,845	243,205
Febrero	7	32,48	5,2	65,71	86,1	20,35	0,845	130,966
Marzo	28	34,45	21,0	100,16	107,0	6,85	0,845	106,844
Abril	111	32,93	83,1	133,09	190,1	56,99	0,845	142,824
Mayo	294	31,87	220,0	164,96	410,1	245,14	0,845	248,610
Junio	283	35,76	211,8	200,72	621,9	421,16	0,845	309,831
Julio	383	29,76	286,6	230,48	908,5	678,02	0,845	394,184
Agosto	427	33,28	319,5	263,76	1228,0	964,29	0,845	465,596
Septiembre	331	32,02	247,7	295,77	1475,7	1179,97	0,845	498,946
Octubre	613	35,59	458,7	331,36	1934,5	1603,12	0,845	583,800
Noviembre	581	29,59	434,8	360,95	2369,3	2008,32	0,845	656,395
Diciembre	208	30,23	155,7	391,18	2524,9	2133,75	0,845	645,459
							Promedio	368,888

Fuente. Autores

De acuerdo a los resultados podemos resaltar que el potencial de ahorro de agua para el sistema propuesto para el CEAD Cartagena de Indias es elevado desde el primer mes de su ejecución si se llevara a cabo, si tenemos en cuenta estos resultados analizamos que el sistema alternativo diseñado es viable en todos los sentidos debido a que surte la demanda del centro universitario. Para el interceptor de primeras aguas es recomendable utilizar un tanque comercial de plástico resistente de 1000 L ya que es

necesario solamente 845 L como volumen máximo del tanque del interceptor, dicho tanque interceptor contará con un sistema de válvula flotante que indicará el nivel requerido (845L) y que permitirá el llenado del tanque de almacenamiento cuando se halla alcanzado dicho nivel. A su vez, este sistema interceptor se ubicará a la entrada del tanque de almacenamiento, a nivel del suelo del patio. En cuanto al volumen de almacenamiento es necesario un tanque para 2133,75 m³, por ende, es necesario la construcción del mismo a nivel del suelo. Dicha construcción se realizará con personal capacitado

Red de Distribución.

La red de distribución se calculó utilizando el método de Corteza Total, los resultados se muestran en la tabla 7. La ubicación de los tramos y de las redes estarán definidas en el plano anexo N° 1. El punto „A“ indica el lugar de bombeo hacia los diferentes puntos de abastecimiento, el punto B designara el baño del primer (1) piso, el punto C designara el baño del segundo (2) piso, el punto D designara el baño del tercer (3) piso y el punto E designara el tramo del cuarto (4) piso. El caudal total requerido para el funcionamiento de los sanitarios y los lavabos es la suma de los caudales de los tramos A-B, A-C, A-D y A-E y el diámetro del tramo es obtenido a partir de la Tabla 1 de “Fundamentos de hidráulica e instalaciones de abasto en las edificaciones. Segunda parte.” Samuel Melguizo. Pág. 119.

Tabla 7

Dimensionamiento de las redes de distribución.

PISO	Baños	Tramos	aparatos sanitarios	n	caudal, Qi en (L/S)	GMP EN (L/S)	Diámetro en pulgadas	Longitud
1	B	A-B	Orinales	3	0,15	0,45	1 1/4"	15
			lavamanos	3	0,1	0,3	1 1/2"	15
			Inodoros	4	0,15	0,6	3/4"	15

2	C	A-C	Orinales	3	0,15	0,45	1 1/4"	22
			lavamanos	3	0,1	0,3	1 1/2"	22
			Inodoros	4	0,15	0,6	3/4"	22
3	D	A-D	Orinales	3	0,15	0,45	1 1/4"	29
			lavamanos	3	0,1	0,3	1 1/2"	29
			Inodoros	4	0,15	0,6	3/4"	29
4	E	A-E	Orinales	0	0,15	0	1 1/4"	36
			Lavamanos	3	0,1	0,3	1 1/2"	36
			Inodoros	2	0,15	0,3	3/4"	36
					GMP	4,65		
					Total en			
					(L/S)			

Fuente. Autores

Sistema de Bombeo

Para el diseño de la bomba se tomó como referencia los cálculos realizados por Castañeda (2010), en los cuales elige un sistema de bombeo con un caudal de bombeo de 6,0 L/s ideal para el manejo de un sistema sanitario en el cual pueden transitar 1500 personas, en nuestro caso el caudal es de 4,6 L/s, lo que es ideal para usar el sistema de bombeo planteado por dicho autor. Los resultados se muestran en la tabla 8.

Tabla 8

Dimensionamiento del sistema de bombeo.

Descripción	Valor
Tipo de bomba	Succión negativa
Caudal de bombeo	6,0 L/s
Diámetro de la succión	4 pulgadas
Diámetro de la impulsión	3 pulgadas
Coefficiente de rugosidad succión	148
Material tubería de impulsión	PVC

Velocidad en la succión	0,95 m/s
Velocidad en la impulsión	1,72 m/s
Altura estática de succión	3,48 m
Altura estática de impulsión	7,82 m
Altura dinámica de succión	2,6 m
Altura dinámica de impulsión	10,0 m
Altura dinámica total	14,6 m
Cabeza neta de succión disponible	5,2 m
Cabeza neta de succión requerida	3,8 m
Eficiencia teórica de la bomba	75,0 %
Potencia requerida del motor	7,63 HP
Golpe de ariete	64,6 m

Fuente. autores

Cantidades de Obra y Presupuesto.

La información respectiva de los sistemas hidro- sanitarios del CEAD Cartagena de Indias no estaba en su totalidad disponible por motivos de seguridad, por ende, fue necesario realizar cálculos promediando los datos conocidos como altura del edificio, numero de baño y de aparatos sanitarios. Además, teniendo en cuenta la poca información obtenida de planos sobre el centro universitario, especialmente sobre las redes de acueducto, se presenta a continuación un presupuesto aproximado del valor del proyecto.

Tabla 9

Cantidades de obra y presupuesto.

ITEM	DESCRIPCION	UN	CANTIDAD	VALOR UNITARIO (\$)	VALOR TOTAL (\$)
1	TANQUE DE ALMACENAMIENTO				
1,1	Remoción de la capa vegetal	Día	1	\$ 70.000	\$ 70.000

1,2	Rotura y retiro de pavimento rígido	m ³	4	\$	\$
				40.000	160.000
1,3	Excavación manual en material común húmedo 0-3 m	m ³	300	\$	\$
				4.000	1.200.000
1,4	Entibado temporal 0-3 m	m ³	340	\$	\$
				6.000	2.040.000
1,5	Llenos con material selecto de la excavación	m ³	160	\$	\$
				3.000	480.000
1,6	Llenos compactados mecánicamente con material de préstamo (con densidad > 90% del Proctor Modificado)	m ³	90	\$	\$
				25.000	2.250.000
1,7	Regada de material excedente de la excavación	m ³	80	\$	\$
				5.000	400.000
1,8	Entresuelo en piedra para afirmado e = 0,20 m	m ³	30	\$	\$
				30.000	900.000
1,9	Solado en Concreto f'c =140 Kg/cm2 e= 0,05 m	m ³	5	\$	\$
				95.000	475.000
1,1	Concreto f'c =245 Kg/cm2 para losas de fondo incluye impermeabilizante y aditivos de fraguado	m ³	38	\$	\$
				250.000	9.500.000
1,11	Concreto f'c =245 Kg/cm2 para muros, incluye formaleteria e impermeabilizante	m ³	35	\$	\$
				280.000	9.800.000
1,12	Concreto f'c =245 Kg/cm2 para tapas, incluye formaleteria e impermeabilizante	m ³	38	\$	\$
				280.000	10.640.000
1,13	Acero de refuerzo fy = 60.000 p.s.i. (norma NTC 2289)	Kg	7900	\$	\$
				3.278	25.896.200
1,14	Cinta PVC de e = 22 cm para juntas de construcción	ml	63	\$	\$
				19.000	1.197.000
SUBTOTAL DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO					\$
					65.008.200

2

INTERCEPTOR DE PRIMERAS AGUAS

2,1	Tanque interceptor de 2000 L	un	1	\$	\$
				380.000	380.000
2,2	Válvula de bola tipo llave de 1/2"	un	1	\$	\$
				8.000	8.000
2,3	Válvula flotadora 2"	un	1	\$	\$
				100.000	100.000
SUBTOTAL INTERCEPTOR					\$
					488.000

3

SISTEMA DE BOMBEO

3,1	Motobomba centrífuga horizontal de uso general marca IHM de la serie HY - FLO	un	1	\$	\$
				2.800.000	2.800.000
3,2	Tanque metálico con membrana para equipo hidroflo	un	1	\$	\$
				1.600.000	1.600.000
3,3	Arrancador directo en caja plástica debidamente alambrado, material Siemens o de similar calidad para el trabajo de 1 motobomba con motor de 5.0HP/220V/3F/ (11-16A) 60Hz de incluyendo contactor, relé bimetálico y botones star stop.	un	1	\$	\$
				480.000	480.000
3,4	Accesorios normales de instalación para equipo hidroflo incluyendo: • 1 switch flotador para control de nivel • 1 presóstato rango 40-60 PSI • 1 manómetro • 1 válvula cheque hidro 2" • 2 válvulas paso libre Red White de 2" (succión, descarga) • 1 válvulas paso libre Red White de 1 1/2" (tanque) • 1 válvula de paso libre Red White de 1" (desagüe tanque)	un	1	\$	\$
				1.100.500	1.100.500
SUBTOTAL DEL SISTEMA DE BOMBEO					\$
					5.980.500

4 SISTEMA DE RECOLECCIÓN Y CONDUCCIÓN					
4,1	Tubería ventilación PVC 4" para bajantes	m	35	\$	\$
				36.000	1.260.000
4,2	Codos, semicodos, uniones	un	15	\$	\$
				6.000	90.000
4,3	Pintura coraza	galón	1	\$	\$
				22.000	22.000
4,4	Brocha, Thinner	un	2	\$	\$
				23.000	46.000
SUBTOTAL DEL SISTEMA DE RECOLECCION Y CONDUCCION					\$
					1.418.000

5 RED DE DISTRIBUCIÓN					
5,1	Suministro e instalación de Tubería presión PVC 3/4"	un	16	\$	\$
				5.500	88.000
5,2	Suministro e instalación de Tubería presión PVC 1/2"	un	70	\$	\$
				3.000	210.000
5,3	Suministro e instalación de Tubería presión PVC 1"	un	66	\$	\$
				4.500	297.000
5,4	Suministro e instalación de Tubería presión PVC 1 1/4"	un	68	\$	\$
				6.200	421.600

5,5	Suministro e instalación de Tubería presión PVC 1 1/2"	un	5	\$ 8.000	\$ 40.000
5,6	Suministro e instalación de Tubería presión PVC 2"	un	8	\$ 9.250	\$ 74.000
5,7	Construcción de Cámara de aire para golpe de ariete	un	120	\$ 10.350	\$ 1.242.000
5,8	Suministro e instalación de Salida de presión en 1/2"	un	30	\$ 12.000	\$ 360.000
5,9	Suministro e instalación de Válvula de cierre 1/2"	un	66	\$ 18.500	\$ 1.221.000
5,1	Suministro e instalación de Válvula de cierre 1"	un	12	\$ 23.780	\$ 285.360

SUBTOTAL SISTEMA DE RECOLECCIÓN Y CONDUCCIÓN \$ 4.238.960

TOTAL, COSTOS DIRECTOS \$ 77.133.660,00

Fuente. Autores

Análisis financiero

Para determinar el análisis financiero primero debemos analizar la siguiente tabla

Tabla 10

Gasto anual del CEAD Cartagena de Indias

Meses	Consumo de agua potable en m ³	Costo del agua por metro cubico (\$)	Costo por consumo de agua potable (\$)
Enero	35	2209	\$ 77.315,00
Febrero	30	2209	\$ 66.270,00
Marzo	38	2209	\$ 83.942,00
abril	41	2209	\$ 90.569,00
mayo	35	2209	\$ 77.315,00
Junio	30	2209	\$ 66.270,00
Julio	37	2209	\$ 81.733,00
Agosto	43	2209	\$ 94.987,00
Septiembre	39	2209	\$ 86.151,00
Octubre	31	2209	\$ 68.479,00
Noviembre	30	2209	\$ 66.270,00
Diciembre	28	2209	\$ 61.852,00
Gasto total anual en pesos (cop)			\$ 921.153,00

Fuente. Autores

Teniendo en cuenta los resultados de la tabla 10, tomaremos como referencia el gasto total anual del CEAD Cartagena de Indias para calcular el tiempo de recuperación de la inversión del proyecto y comenzar a tener valores positivos en ganancia neta, a su vez, se debe comprender que el sistema suple en su totalidad la demanda ejercida por el centro por lo que el gasto en el consumo de aguas en los sanitarios después de su implementación sería cero.

Ahora bien, considerando que el centro universitario gasta anualmente en promedio la cantidad de \$921.153,00 pesos colombianos por el servicio de acueducto (según valores de la Tabla 10), al implementar el sistema de aprovechamiento de aguas lluvias mencionado en esta investigación, se tendría un ahorro total del 100% durante los años siguientes a su implementación debido a que cubre en su totalidad la demanda. Aunque en un momento inicial el costo de la implementación es alto siendo de 77.133.660 millones de pesos sería el único monto de inversión que se realizaría en dicha implementación del sistema de abastecimiento, lo que indicaría que en el primer año se debería pagar el costo total de la obra civil, por último, el tiempo necesario para recuperar la inversión tomando los datos mencionados anteriormente se muestra a continuación

$$\text{Periodo de recuperación en años} = \frac{\text{Costos iniciales}}{\text{Ahorros anuales}}$$

$$\text{Periodo de recuperación en años} = \frac{77.133.660}{921.153} = 84,7 \text{ años}$$

Como se observa al final es periodo de recuperación de la inversión inicial es de 84 años esto se da debido al bajo consumo que se presenta en el centro y al alto costo de la implementación del sistema, como la inversión es alta se deberían encontrar alternativas de financiamiento como por ejemplo la secretaria de educación de Cartagena, la alcaldía mayor de

Cartagena, empresarios motivados con el cuidado de nuestros recursos hídricos y un sinnúmero de ONG que están inmersas en el cuidado de nuestro planeta, así el centro dejaría de pagar la demanda en m³ de aguas para el funcionamiento de sus sistemas sanitarios.

Conclusiones y Recomendaciones

Analizando los resultados encontrados en el presente trabajo se puede concluir que el proyecto cumple con el principal objetivo que es implementar un diseño de un sistema sanitario en el CEAD Cartagena de Indias y que, a su vez, es técnicamente viable la implementación del mismo en el centro universitario, sin obviar que es importante el número de precipitaciones promedias mensuales en la zona son prometedoras para la realización del presente proyecto y con ellas se logra completar al 100% la demanda del centro.

Por otro lado, el análisis financiero demostró que la inversión del sistema es alta en comparación al gasto que requiere el CEAD Cartagena de Indias, arrojando un total de 84,7 años para recuperar la inversión, pero dicha inversión sería nula para el centro su encuentra apoyo de los organismos de educación, empresas, ONG o de alcaldía de la ciudad, sin la ayuda de las entidades la realización del proyecto sería inaccesible. Se debe mencionar que el diseño del sistema de aprovechamiento de aguas lluvias del presente trabajo está acorde a las condiciones climáticas promedio de los últimos años, de la ubicación y del diseño del centro estudiado en cuestión

Los anteriores cálculos se basaron en la información disponible del centro universitario, sobre las redes y baños del edificio de dicho centro universitario y sobre la demanda real del centro en sus recibos de consumo de agua potable mensual, por ende, para futuras referencias es recomendable realizar el levantamiento de las redes de acueducto, aparatos sanitarios para poseer la mayor precisión posible en el trazado de la red de distribución.

Por último, se debe considerar que el presente trabajo para optar al título de ingeniero ambiental consiste únicamente en la ingeniería conceptual de un sistema de aprovechamiento de aguas lluvias en la ciudad de Cartagena de indias, se tuvo un nivel medio de los detalles de instalación y construcción del sistema siguiendo los procesos de autor Castañeda (2010), por lo

que para su implementación es muy recomendable hacer levantamientos en campo para realizar la cuantía exacta de los componentes del sistema y su ubicación.

Referencias

- Abdulla, F.A. and AlShareef, A., (2006). Assessment of rainwater roof harvesting systems for household water supply in Jordan. Springer. pp. 291300.
- Abdulla, F. A.-S. (2009). Roof rainwater harvesting systems for household water supply in Jordan. *Desalination* 243, 195-207.
- Arévalo, G. B. (2018). *Diseño De Un Sistema De Aprovechamiento De Aguas Lluvias Para La Facultad Tecnológica De La Universidad Distrital Francisco José De Caldas*. Obtenido de <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/14257/1/BautistaArevaloAndersonGeovanny2018.pdf>
- Abdulla, F.A. and AlShareef, A., (2006). Assessment of rainwater roof harvesting systems for household water supply in Jordan. Springer. pp. 291300.
- Abdulla, F. A.-S. (2009). Roof rainwater harvesting systems for household water supply in Jordan. *Desalination* 243, 195-207.
- Arevalo, G. B. (2018). *Diseño De Un Sistema De Aprovechamiento De Aguas Lluvias Para La Facultad Tecnológica De La Universidad Distrital Francisco José De Caldas*. Obtenido de <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/14257/1/BautistaArevaloAndersonGeovanny2018.pdf>
- Ballén Suárez, J., Galarza García, M., & Ortiz Mosquera, R. (5,6,7 de Junio de 2006). Historia de los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia. Brasil.
- Catalán Lafuente, E. (2000). *Tratado del agua Control de la Contaminación y Depuración*. Mérida: Santa María C.A.
- Castañeda, N. P. (2010). *Propuesta De Un Sistema De Aprovechamiento De Agua Lluvia, Como Alternativa Para El Ahorro De Agua Potable, En La Institución Educativa María Auxiliadora De Caldas, Antioquia*. Obtenido de <http://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/1325/1/PropuestaSistemaAprovechamientoAguaLluvia.pdf>

- Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, Organización Panamericana de la Salud y Organización Mundial de la Salud. (2004). Especificaciones técnicas de captación de agua de lluvia para consumo humano. Unidad de Apoyo Técnico para el Saneamiento Básico del Área Rural. 10 P.
- Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente., Organización Panamericana de la Salud, and Organización Mundial de la Salud. Especificaciones Técnicas Captación de Agua de Lluvia para Consumo Humano. 2003.
- Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente., Organización Panamericana de la Salud, and Organización Mundial de la Salud. Guía de diseño para captación del agua de lluvia. 2004.
- Departamento Administrativo De Ciencia, T. E. (S.F.). *anexo 3 - descripción rubros, ejemplo de presupuesto*. Recuperado el 01 de 04 de 2020
- Duque, G. (5 de 6 de 2011). *Calentamiento global en Colombia*. Obtenido de <http://bdigital.unal.edu.co/3673/1/gonzaloduqueescobar.201138.pdf>
- IDEAM. (2010). Estudio Nacional del Agua 2010. Bogotá D.C: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
- IDEAM. (2005). Cifras del Estudio Nacional del Agua a 2005. In IDEAM (Ed.) (1 ed., pp. 5). Bogotá D.C.: IDEAM.
- IDEAM, M. d. M. A. (2005). Atlas Climatológico de Colombia. Bogotá D.C.: Colombia. Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial-IDEAM.
- IDEAM. (2018). *Documento Metodológico Estadísticas Variables Meteorológicas*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/documents/11769/72085840/Documento+metodologico+variables+meteorologicas.pdf/8a71a9b4-7dd7-4af4-b98e-9b1eda3b8744>
- EPA. (2022). Observatorio EPA Cartagena. Obtenido de <http://observatorio.epacartagena.gov.co/gestion-ambiental/calidad-ambiental/sistema-urbano/precipitacion/>

- Gamarra, C. A. (2015). *Diseño De Sistema Piloto De Almacenamiento De Agua Lluvia A Escala Laboratorio En La Sede Piedra De Bolívar De La Universidad De Cartagena*. Obtenido de <https://repositorio.unicartagena.edu.co/bitstream/handle/11227/2088/dise%20de%20sistema%20piloto%20de%20almacenamiento%20de%20agua%20lluvia%20a%20escala%20laboratorio.pdf;jsessionid=f8f24eafe1f72721b58c5df8ea59df74?sequence=1>
- FAO. (2013). Captación y almacenamiento de agua de lluvia. Obtenido de <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Fwww.fao.org%2F3%2Fi3247s%2Fi3247s.pdf&clen=4887867>
- Jones, M. P. (2010). Performance of rainwater harvesting systems in the. *Resources, Conservation and Recycling* 54, 623-629.
- Hernández, J., Bayón, J., Fresno, D., Pérez, M., Jordana, J., Muñoz, F., et al. (2006). Construcción de pavimentos permeables para el control en origen de la escorrentía urbana: ejemplo práctico del aparcamiento del palacio de deportes de La Guía. Paper presentado en el III Congreso de Ingeniería Civil, Territorio y Medio Ambiente. Universidad de Cantabria, Universidad de Oviedo y Ayuntamiento de Gijón.
- Herrmann, T. &. (1999). Rainwater utilisation in Germany: efficiency,. *Urban Water* 1, 307- 316.
- Herrmann, T. and Schmida, U. Rainwater utilisation in Germany: efficiency, dimensioning, hydraulic and environmental aspects. *Urban Water*. 1, 1999 (2000), 307- 316.
- Melguizo B., S. (1977). *Fundamentos de hidráulica e instalaciones de abasto en las edificaciones*. Primera parte. Centro de Publicaciones de la Universidad Nacional de Colombia. 320 P.
- Melguizo B., S. *Fundamentos de Hidráulica e Instalaciones de Abasto en las Edificaciones*. Primera parte. Centro de publicaciones Universidad Nacional., Medellín, 1977.
- Melguizo B., S. *Fundamentos de Hidráulica e Instalaciones de Abasto en las Edificaciones*. Segunda parte. Centro de publicaciones Universidad Nacional., Medellín, 1980.
- mundial, B. (18 de 11 de 2018). *El cambio climático podría obligar a más de 140 millones de personas a migrar dentro de sus propios países para el año 2050: Informe del Banco Mundial*. Obtenido de <https://www.bancomundial.org/es/news/press->

release/2018/03/19/climate-change-could-force-over-140-million-to-migrate-within-countries-by-2050-world-bank-report

Palacio, N. (2010). Propuesta de un sistema de aprovechamiento de agua lluvia como alternativa para el ahorro de agua potable, en la institución educativa María Auxiliadora de Caldas, Antioquia. Facultad de Ingeniería, Escuela de Ambiental. Universidad de Antioquia. 16 P.

Porto, G. P. (2009). *El calentamiento global y las emisiones de carbono*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/3374/337428493007.pdf>

Reyes, m. c. (2014). *Descripción De Los Sistemas De Recolección Y Aprovechamiento De Aguas Lluvias*. Obtenido de <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/2089/1/Recoleccion-aguas.pdf>

Sánchez, L., & Caicedo, E. (2004). Uso del agua lluvia en La Bocana-Buenaventura. CINARA; Universidad del Valle. Usos Múltiples del Agua: para la Vida y el Desarrollo Sostenible. Cartagena de Indias, CINARA, 2004, p. 1-9 Ilus, Tab.

Santana, M. d. (2015). *RANGO DE CONSUMO BÁSICO*. Obtenido de https://www.cra.gov.co/documents/Documento_de_Trabajo_y_Participacion_Ciudadana_750.pdf

Satoque, H. C. (2014). *Diseño De Un Sistema De Captacion Y Aprovechamiento De Aguas Lluvias Como Alternativa De Ahorro De Agua Potable En La Universidad Libre De Colombia, Sede Bosque Popular, Bloque P Y Cafeteria* . Obtenido de [https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/11231/PROYECTO%20DE%20GRADO%20ANGIE%20HASLEY%20CORREA%20SASTOQUE%20\(1\).pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/11231/PROYECTO%20DE%20GRADO%20ANGIE%20HASLEY%20CORREA%20SASTOQUE%20(1).pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Universidad Nacional Abierta y a Distancia. (22 de 08 de 2008). *Sello Editorial UNAD*.

Recuperado el 06 de 11 de 2019, de

https://sgeneral.unad.edu.co/images/documentos/consejoSuperior/acuerdos/2008/COSU_ACUE_0006_26082008.pdf

Water Texas Development Board. 2005. The Texas manual on rainwater harvesting. Development. 88 P.