

**MODELO PARA EVALUAR LA FACTIBILIDAD DE REUTILIZACION DE
AGUAS LLUVIAS EN EDIFICACIONES DE DIFERENTES USOS Y SEGÚN LA
INTENSIDAD DE LLUVIA DE LA ZONA**

JAVIER ALBERTO MARTÍNEZ PORRAS

JUAN DAVID RODRÍGUEZ RUIZ

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE ESPECIALIZACIÓN EN RECURSOS HÍDRICOS

BOGOTÁ D.C – 2019

**MODELO PARA EVALUAR LA FACTIBILIDAD DE REUTILIZACION DE
AGUAS LLUVIAS EN EDIFICACIONES DE DIFERENTES USOS Y SEGÚN LA
INTENSIDAD DE LLUVIA DE LA ZONA**

JAVIER ALBERTO MARTÍNEZ PORRAS

JUAN DAVID RODRIGUEZ RUIZ

Trabajo de grado para obtener el título de especialista en Recursos Hídricos.

ASESOR: MARIA FERNANDA ACERO

INGENIERA CIVIL, MSC.

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE ESPECIALIZACIÓN EN RECURSOS HÍDRICOS

BOGOTÁ D.C – 2019



Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:
Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

Para leer el texto completo de la licencia, visita:
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/co/>

Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra
hacer obras derivadas

Bajo las condiciones siguientes:



Atribución — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



No Comercial — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.

Nota de aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Bogotá D.C., junio de 2019.

Dedicatoria

A nuestros familiares, parejas y amigos, que siempre han estado cuando los necesitamos.

Agradecimientos

A todas las personas que nos apoyaron en la ejecución de este documento.

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|----------------------------------------------------------|-----------|
| INTRODUCCIÓN | 15 |
| 1 GENERALIDADES DEL TRABAJO DE GRADO | 16 |
| 1.1 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN | 16 |
| 1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... | 16 |
| 1.2.1 Antecedentes del problema..... | 16 |
| 1.2.2 Pregunta de investigación..... | 16 |
| 1.3 JUSTIFICACIÓN | 17 |
| 1.4 OBJETIVOS | 18 |
| 1.4.1 Objetivo general | 18 |
| 1.4.2 Objetivos específicos..... | 18 |
| 2 MARCOS DE REFERENCIA..... | 19 |
| 2.1 MARCO CONCEPTUAL | 19 |
| 2.2 MARCO TEÓRICO | 20 |
| 2.2.1 Precipitación | 20 |
| 2.2.2 Método racional..... | 20 |
| 2.3 MARCO GEOGRÁFICO | 21 |
| 2.4 MARCO DEMOGRÁFICO | 21 |
| 2.5 MARCO LEGAL | 22 |
| 2.6 ESTADO DEL ARTE | 23 |
| 3 METODOLOGÍA..... | 26 |
| 3.1 ALCANCES Y LIMITACIONES | 26 |
| 3.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN | 26 |
| 3.3 INSTRUMENTOS O HERRAMIENTAS UTILIZADAS | 26 |
| 3.4 FASES DEL TRABAJO DE GRADO | 26 |
| 4 ELABORACIÓN DEL MODELO..... | 28 |
| 4.1 DEFINICIÓN DE PARAMETROS DE ENTRADA AL MODELO..... | 28 |
| 4.1.1 SMMLV (Salario mínimo mensual legal vigente) | 28 |
| 4.1.2 Ubicación..... | 28 |
| 4.1.3 Estrato o sector..... | 28 |

| | | |
|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 4.1.4 | <i>Tipo de uso de la edificación</i> | 28 |
| 4.1.5 | <i>Uso exacto de la edificación</i> | 29 |
| 4.1.6 | <i>Área de cubierta</i> | 29 |
| 4.1.7 | <i>Altura a cubierta</i> | 29 |
| 4.1.8 | <i>Costo promedio bimestral de consumo de agua del proyecto</i> | 29 |
| 4.1.9 | <i>Población</i> | 30 |
| 4.1.10 | <i>Proyecto nuevo o existente</i> | 30 |
| 4.1.11 | <i>Caudal Industrial</i> | 30 |
| 4.1.12 | <i>Caudal de riego</i> | 30 |
| 4.2 | PROCESO DE ANALISIS DEL MODELO (ANALISIS INTERNO DEL MODELO SEGÚN PARAMETROS DE ENTRADA) | 30 |
| 4.2.1 | <i>Caudal de agua potable para usos no potables</i> | 30 |
| 4.2.2 | <i>Volumen estimado de agua lluvia en tanque</i> | 32 |
| 4.2.3 | <i>Calculo de costo de agua para usos no potables</i> | 33 |
| 4.2.4 | <i>Calculo del costo de las estructuras requeridas para realizar la reutilización de aguas lluvias</i> | 35 |
| 4.2.4.1 | <i>Planta de tratamiento de aguas lluvias (PTALL)</i> | 36 |
| 4.2.4.2 | <i>Redes de captación de aguas lluvias y suministro de agua tratada para usos no potables</i> | 37 |
| 4.2.4.3 | <i>Tanque de almacenamiento de agua lluvia</i> | 37 |
| 4.3 | PARAMETROS DE SALIDA DEL MODELO DE FACTIBILIDAD | 38 |
| 4.3.1 | <i>Número de días con agua de reserva en tanque para reutilización de aguas lluvias</i> | 38 |
| 4.3.2 | <i>Valor de la inversión inicial y costos de mantenimiento en el tiempo</i> | 38 |
| 4.3.3 | <i>Nuevo costo promedio bimestral de consumo de agua potable del proyecto</i> | 38 |
| 4.3.4 | <i>Tiempo aproximado para recuperar la inversión inicial</i> | 39 |
| 5 | APLICACIONES DEL MODELO | 42 |
| 5.1 | PROYECTO EXISTENTE 1 (EDIFICIO OFICINAS AMARILO-BOGOTÁ) | 42 |
| 5.1.1 | <i>Descripción</i> | 42 |
| 5.1.2 | <i>Parámetros de entrada</i> | 44 |
| 5.1.3 | <i>Resultados</i> | 44 |
| 5.2 | PROYECTO EXISTENTE 2 (SEDE FEDERACION COLOMBIANA DE FUTBOL -BARRANQUILLA) . | 45 |
| 5.2.1 | <i>Descripción</i> | 45 |
| 5.2.2 | <i>Parámetros de entrada</i> | 50 |
| 5.2.3 | <i>Resultados</i> | 51 |

| | | |
|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 5.2.4 | <i>Reevaluación con parámetros ajustados</i> | 51 |
| 5.3 | PROYECTO NUEVO (PARQUE DE BOLIVAR-CARTAGENA)..... | 52 |
| 5.3.1 | <i>Descripción</i> | 52 |
| 5.3.2 | <i>Parámetros de entrada</i> | 54 |
| 5.3.3 | <i>Resultados</i> | 54 |
| 5.3.4 | <i>Reevaluación con parámetros ajustados</i> | 55 |
| 5.3.4.1 | Parámetros de entrada | 55 |
| 5.3.4.2 | Resultados | 56 |
| 6 | ANÁLISIS DE RESULTADOS | 58 |
| 6.1 | ANÁLISIS DE RESULTADOS PROYECTO EXISTENTE 1 (EDIFICIO OFICINAS AMARILO-BOGOTÁ).. | 58 |
| 6.2 | ANÁLISIS DE RESULTADOS PROYECTO EXISTENTE 2 (SEDE FEDERACION COLOMBIANA DE FUTBOL -BARRANQUILLA)..... | 58 |
| 6.3 | ANÁLISIS DE RESULTADOS PROYECTO NUEVO (PARQUES DE BOLIVAR-CARTAGENA) | 58 |
| 7 | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 60 |
| 8 | BIBLIOGRAFÍA | 62 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| FIGURA 2-1 CICLO DEL AGUA LLUVIA DENTRO DE LAS EDIFICACIONES | 19 |
| FIGURA 2-2 CRECIMIENTO POBLACIONAL MUNDIAL (GOOGLE, 22)..... | 21 |
| FIGURA 2-3 CRECIMINETO POBLACIONAL COLOMBIA. FUENTE: (DANE, 2011) | 22 |
| FIGURA 5-1 IMAGEN AÉREA DEL EDIFICIO OFICINAS AMARILO-BOGOTÁ..... | 42 |
| FIGURA 5-2 CORTE LONGITUDINAL DEL EDIFICIO OFICINAS AMARILO-BOGOTÁ | 43 |
| FIGURA 5-3 VARIABLES INICIALES INGRESADAS AL MODELO PARA REALIZAR EL ANÁLISIS DEL EDIFICIO OFICINAS AMARILO-BOGOTÁ | 44 |
| FIGURA 5-4 RESULTADOS DEL MODELO APLICADO PARA EL EDIFICIO OFICINAS AMARILO-BOGOTÁ..... | 44 |
| FIGURA 5-5 GRÁFICA DE INVERSIÓN PARA EL EDIFICIO OFICINAS AMARILO-BOGOTÁ..... | 45 |
| FIGURA 5-6 IMAGEN AÉREA DE LA SEDE FEDERACIÓN COLOMBIANA DE FUTBOL -BARRANQUILLA | 47 |
| FIGURA 5-7 DESARROLLO DEL PROYECTO FEDERACIÓN COLOMBIANA DE FUTBOL -BARRANQUILLA | 48 |
| FIGURA 5-8 CORTE LONGITUDINAL DE LA TORRE 1 DE LA FEDERACIÓN COLOMBIANA DE FUTBOL -BARRANQUILLA. | 48 |
| FIGURA 5-9 CORTE LONGITUDINAL DE LA TORRE 2 DE LA FEDERACIÓN COLOMBIANA DE FUTBOL -BARRANQUILLA. | 49 |
| FIGURA 5-10 CORTE LONGITUDINAL DE LA TORRE 3 DE LA FEDERACIÓN COLOMBIANA DE FUTBOL -BARRANQUILLA | 49 |
| FIGURA 5-11 CORTE LONGITUDINAL DE LA TORRE 4 DE LA FEDERACIÓN COLOMBIANA DE FUTBOL -BARRANQUILLA | 49 |
| FIGURA 5-12 CORTE LONGITUDINAL DE LA TORRE 5 DE LA FEDERACIÓN COLOMBIANA DE FUTBOL -BARRANQUILLA | 50 |
| FIGURA 5-13 VARIABLES INICIALES INGRESADAS AL MODELO PARA REALIZAR EL ANÁLISIS DE LA FEDERACIÓN COLOMBIANA DE FUTBOL –BARRANQUILLA | 50 |
| FIGURA 5-14 RESULTADOS DEL MODELO APLICADO PARA LA FEDERACIÓN COLOMBIANA DE FUTBOL - BARRANQUILLA..... | 51 |
| FIGURA 5-15 RESULTADOS DE LA REEVALUACIÓN DEL MODELO APLICADO PARA LA FEDERACIÓN COLOMBIANA DE FUTBOL -BARRANQUILLA..... | 51 |
| FIGURA 5-16 GRÁFICA DE INVERSIÓN PARA LA REEVALUACIÓN DE LA FEDERACIÓN COLOMBIANA DE FUTBOL - BARRANQUILLA..... | 52 |
| FIGURA 5-17 IMAGEN AÉREA DEL CONJUNTO RESIDENCIAL PARQUE DE BOLÍVAR-CARTAGENA | 53 |
| FIGURA 5-18 FUTURO DESARROLLO DEL CONJUNTO RESIDENCIAL PARQUE DE BOLÍVAR-CARTAGENA | 53 |
| FIGURA 5-19 VARIABLES INICIALES INGRESADAS AL MODELO PARA REALIZAR EL ANÁLISIS DEL CONJUNTO RESIDENCIAL PARQUE DE BOLÍVAR-CARTAGENA | 54 |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| FIGURA 5-20 RESULTADOS DEL MODELO APLICADO PARA EL CONJUNTO RESIDENCIAL PARQUE DE BOLÍVAR-CARTAGENA | 54 |
| FIGURA 5-21 GRÁFICA DE INVERSIÓN PARA EL CONJUNTO RESIDENCIAL PARQUE DE BOLÍVAR-CARTAGENA..... | 55 |
| FIGURA 5-22 VARIABLES INICIALES INGRESADAS AL MODELO PARA REALIZAR LA REEVALUACIÓN DEL CONJUNTO RESIDENCIAL PARQUE DE BOLÍVAR-CARTAGENA. | 56 |
| FIGURA 5-23 RESULTADOS DEL MODELO APLICADO PARA LA REEVALUACIÓN PARA EL CONJUNTO RESIDENCIAL PARQUE DE BOLÍVAR-CARTAGENA | 56 |
| FIGURA 5-24 GRÁFICA DE INVERSIÓN PARA EL CONJUNTO RESIDENCIAL PARQUE DE BOLÍVAR-CARTAGENA..... | 57 |

LISTA DE TABLAS

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| TABLA 4-1. GALONES POR DESCARGA EN APARATOS DE PLOMERÍA. FUENTE: GUÍA DE REFERENCIA LEED PARA OPERACIONES Y MANTENIMIENTO DE EDIFICIOS DE BAJO IMPACTO AMBIENTAL DE LEED | 31 |
| TABLA 4-2. DESCARGAS POR ACCESORIO PARA USOS NO RESIDENCIAL. GUÍA DE REFERENCIA LEED PARA OPERACIONES Y MANTENIMIENTO DE EDIFICIOS DE BAJO IMPACTO AMBIENTAL DE LEED | 31 |
| TABLA 4-3. DESCARGAS POR ACCESORIO PARA USO RESIDENCIAL. GUÍA DE REFERENCIA LEED PARA OPERACIONES Y MANTENIMIENTO DE EDIFICIOS DE BAJO IMPACTO AMBIENTAL DE LEED | 32 |
| TABLA 4-4 PRECIPITACIONES MEDIDAS POR EL IDEAM EN LOS DIFERENTES AEROPUERTOS DE LAS CIUDADES ANALIZADAS FUENTE: IDEAM..... | 32 |
| TABLA 4-5. TARIFAS POR M3 DE AGUA SEGÚN SECTOR Y CIUDAD. FUENTE: RECOPIACIÓN TARIFAS DE CIUDADES ACUEDUCTOS | 33 |
| TABLA 4-6. COSTO APROX. PTALL EN FUNCIÓN DE CAUDAL DE OPERACIÓN. FUENTE: PROPIA | 36 |
| TABLA 4-7. ÍNDICE DE PRECIOS DE CONSUMIDOR (IPC) 2003-2019. FUENTE: DANE | 41 |

RESUMEN

Como parte del ejercicio profesional, hemos evidenciado, que los sistemas de tratamiento y reutilización de aguas lluvias tiene un gran potencial el cual no es totalmente explotado; esto debido a desconocimiento de los sistemas, arraigo cultural a sistemas tradicionales, falta de previsión presupuestal de inversión inicial y falta de claridad en usos y beneficios. Adicionalmente también notamos que debido al crecimiento poblacional los sistemas de alcantarillado cada vez están excediendo su capacidad. Por lo tanto, decidimos generar un modelo donde de manera sencilla, ingresando unos datos básicos de los proyectos, se pueda tener un análisis rápido, preliminar y significativamente acertado respecto a los costos que puede llegar a tener la implementación de un sistema de tratamiento y reutilización de aguas lluvias y el tiempo de retorno de la inversión.

Palabras clave: Aguas lluvias, reutilización, crecimiento poblacional, modelo de factibilidad, inversión.

ABSTRACT

As part of the professional exercise, we have shown that the treatment systems and the reuse of rainwater have a great potential which is not fully exploited; This is due to an ignorance of the systems, cultural roots and traditional systems, lack of budgetary forecast of initial investment and lack of clarity in the uses and benefits. Sewer systems are increasingly exceeding their capacity. Therefore, we decided to generate a model where, in a simple way, we enter some basic data of the projects, we can have a quick, preliminary and probably accurate analysis regarding the costs that an implementation of the rainwater treatment and reuse system can have. and the return time of the investment.

Keywords: Rainwater, reuse, population growth, feasibility model, investment.

INTRODUCCIÓN

Al paso de los años, el incremento demográfico de las ciudades metropolitanas ha sido bastante pronunciado debido, no solo a la alta natalidad, sino también a la migración de la población de centros rurales a la ciudad. Esto se ve representado en un problema puntual de abastecimiento de agua potable y manejo de aguas que deben controlar las ciudades.

Preocupados por esto, se decidió iniciar la búsqueda de una opción que permita mitigar esta problemática, encontrando la posible solución dentro de las tecnologías existentes, así se plantea la reutilización de aguas lluvias. Que aunque en el país se ha implementado desde hace varios años, no se hace en gran medida; adicional a esto, en edificaciones existentes que cuentan con grandes extensiones de cubiertas posiblemente aprovechables para realizar captación de aguas lluvias, no se tienen, lo cual no es solo una gran pérdida de oportunidad de reutilización para ahorro de agua potable sino un gran caudal que se está dirigiendo al alcantarillado público, el cual cada vez más está superando su capacidad de diseño.

Por lo tanto, se opta por realizar un modelo para evaluar la factibilidad de reutilización de aguas lluvias en edificaciones de diferentes usos y según la intensidad de lluvia de la zona, centrándose en unas intensidades típicas para el territorio nacional.

1 GENERALIDADES DEL TRABAJO DE GRADO

1.1 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

Para la especialización de recursos hídricos, y para los futuros especialistas, es necesario reconocer una problemática que se evidencia a diario como lo es la escasez del agua potable y en muchas ocasiones los malos usos que se le dan en la vida cotidiana. Pero de la misma manera se deben plantear soluciones alternativas que ayuden a mejorar el uso y a disminuir el consumo excesivo. Una solución a la problemática planteada, tendrá como objetivo, generar beneficios económicos y ambientales, considerando una modelación que indique si el proyecto es viable económicamente o no. Temas de estudio como hidrología, hidráulica, economía, gerencia de proyectos, entre otras, serán abarcados para poder cumplir con los objetivos del proyecto.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.2.1 Antecedentes del problema

El calentamiento global, el crecimiento acelerado de la población a nivel mundial, la contaminación industrial, el uso indiscriminado y sin conciencia de los recursos y otros tantos de factores, son los causantes de que el consumo del agua haya incrementado, y peor aún, que el ciclo hidrológico no se esté completando para poder reutilizar el recurso del agua. Tiene como consecuencia un mayor impacto ambiental, y un daño irreparable en los ecosistemas naturales.

1.2.2 Pregunta de investigación

¿Es posible generar un modelo que pueda predecir la viabilidad de la implementación de un sistema de reutilización de aguas lluvias en proyectos nuevos y existentes?

1.3 JUSTIFICACIÓN

- Preocupados por el uso inconsciente del agua y la escases presente y futura del recurso hídrico, debido a malas prácticas, crecimiento poblacional entre otros. Se pretende generar una herramienta de fácil aplicación para dar un análisis rápido y acertado de la viabilidad de reutilización de aguas lluvias en proyectos existentes.
- Desde el punto de vista profesional, hemos notado que el enfoque de reutilización de aguas lluvias en el país, está tomando cada vez más fuerza a para los proyectos en ejecución. Pero de manera opuesta, en proyectos antiguos con grandes oportunidades de aprovechamiento de aguas lluvias no se ha planteado.
- La modelación de un sistema hidráulico que pueda predecir la sustentabilidad (tanto hidrológica como económica) del proyecto sería de gran utilidad ya que ahorraría en tiempo y costos la posibilidad de una ejecución del mismo. De esta manera, podría incentivar al uso de nuevas maneras constructivas, no solo al campo de acción que estamos señalando que son las construcciones ya hechas, sino también a los nuevos proyectos que están por ejecutarse, y que requieren de cierta manera contribuir a todo un sistema hidrológico y al bolsillo del nuevo usuario.
- Con la ejecución del modelo de reutilización de aguas lluvias, se pretende beneficiar tanto a los constructores dando asesoría integral, veraz y casi inmediata de la posibilidad de reutilización de aguas lluvias dentro de su proyecto, como a los administradores, propietarios y usuarios de construcciones existentes, traduciendo la posibilidad de reutilización de aguas lluvias como ahorros económicos y beneficios ambientales. Adicionalmente se contribuye a la superación del futuro desabastecimiento de agua potable, y el desperdicio en usos que no requieren potabilidad.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo general

Crear un modelo que pueda evaluar la factibilidad de un sistema de reutilización de aguas lluvias en edificaciones de diferentes usos, teniendo en cuenta los beneficios económicos en las ciudades de Bogotá, Soacha, Chía, Cali, Medellín, Cartagena, y Barranquilla.

1.4.2 Objetivos específicos

- Elaborar un modelo para evaluar la factibilidad de reutilización de aguas lluvias, para diferentes usos e intensidades.
- Evaluar la factibilidad de reutilización de aguas lluvias en proyectos de diferentes usos: Residencial, Comercial, Industrial, Institucional.
- Evaluar la factibilidad de reutilización de aguas lluvias para diferentes intensidades de precipitación: 110, 120, 160, 210, y 250 mm/hora.
- Aplicar el modelo para tres diferentes edificaciones, dos existentes y una nueva.

2 MARCOS DE REFERENCIA

2.1 MARCO CONCEPTUAL

A continuación, se muestra la ilustración 1, en donde diferenciamos el ciclo del agua lluvia dentro de las edificaciones.



Figura 2-1 Ciclo del agua lluvia dentro de las edificaciones

De la figura 1, se puede destacar que en el sistema tradicional de manejo de aguas lluvias, en donde no se tiene tratamiento ni aprovechamiento del recurso, no solo se usa agua potable para usos no potables, sino que también se tiene una descarga de los picos de caudal de aguas lluvias directamente al alcantarillado público, lo cual se traduce en diseño de alcantarillados pluviales de mayores diámetros, y colapso por falta de capacidad de los alcantarillados existentes.

2.2 MARCO TEÓRICO

A continuación, se muestran los aspectos teóricos y técnicos de los métodos y metodologías aplicadas para el desarrollo del presente trabajo de grado.

2.2.1 Precipitación

“Desde el punto de vista de la ingeniería hidrológica, la precipitación es la fuente primaria del agua de la superficie terrestre, y sus mediciones forman el punto de partida de la mayor parte de estudios concernientes al uso y control del agua.” (Aparicio, 1992, pág. 113)

2.2.2 Método racional

“La fórmula racional es posiblemente el modelo más antiguo de la relación lluvia escurrimiento. Su origen se remonta a 1851 o 1899, de acuerdo con diversos autores. Este modelo toma en cuenta, además del área de la cuenca, la altura o intensidad de la precipitación y es hoy en día muy utilizado, particularmente en el diseño de drenajes urbanos.

Supóngase que en una cuenca impermeable se hace caer uniformemente una lluvia de intensidad constante durante un largo tiempo. Al principio, el gasto que sale de la cuenca será creciente con el tiempo, pero llegará un momento en el que se alcance un punto de equilibrio, es decir, en el que el volumen que entra por unidad de tiempo por la lluvia sea el mismo que el gasto de salida de cuenca.” (Aparicio, 1992, pág. 206)

2.3 MARCO GEOGRÁFICO

El área de estudio comprende el territorio colombiano, identificado en la esquina noroccidente de América del Sur, sobre la línea ecuatorial, en zona tropical. El caso de estudio está encaminado a desarrollos en la ciudad de Bogotá, pero el modelo está calibrado para desarrollos también en Barranquilla, Cali, Cartagena, Medellín, Soacha y Chía.

2.4 MARCO DEMOGRÁFICO

Se tiene como población de estudio colombianos de estrato 1 a 6, en diferentes actividades.

Como se puede ver en la gráfica 1, se presenta una tendencia ascendente de la población, en donde en 30 años ha aumentado un 60% la población colombiana, lo cual está acorde con la premisa expuesta del crecimiento poblacional, al igual que la población mundial.

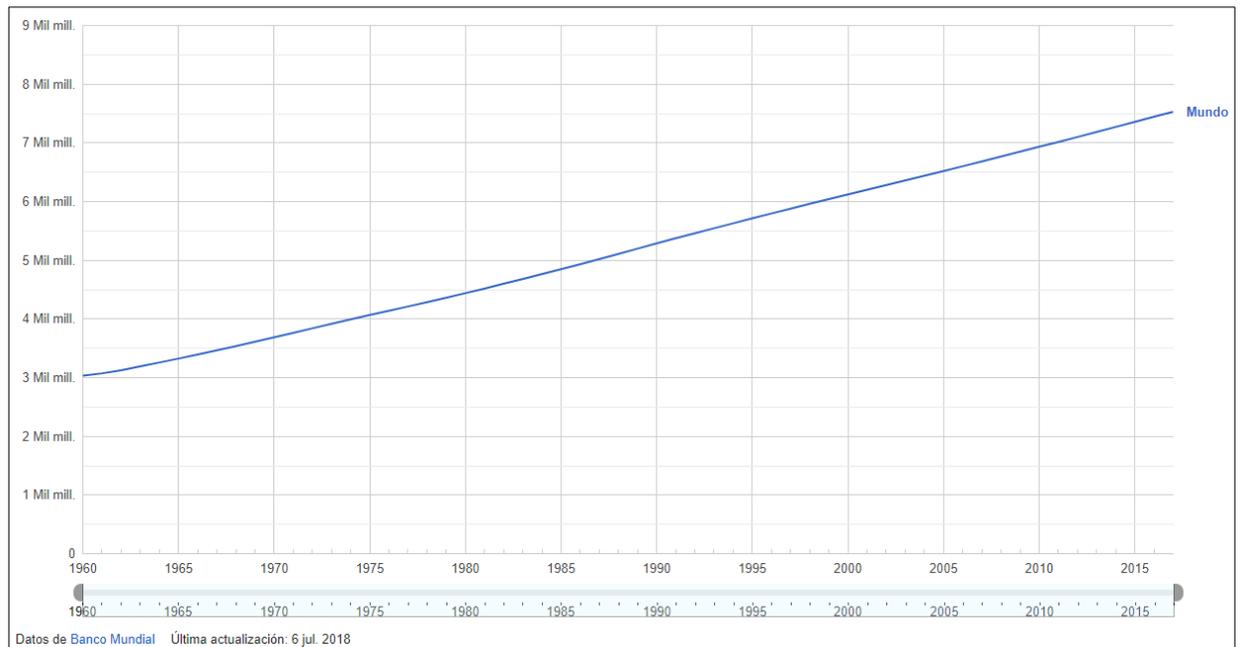


Figura 2-2 Crecimiento poblacional mundial (Google, 22)

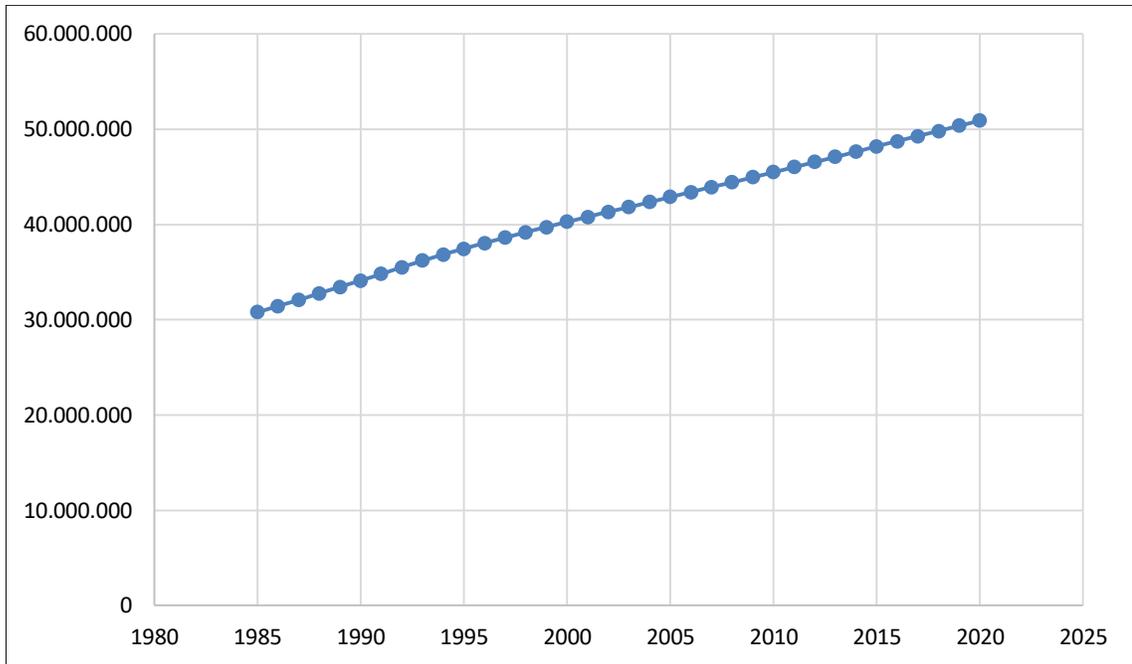


Figura 2-3 Crecimiento poblacional Colombia. Fuente: (DANE, 2011)

2.5 MARCO LEGAL

El artículo 8 de la constitución política reza que “Es obligación del Estado y de las personas proteger las riquezas culturales y naturales de la Nación”, dentro de ellas las fuentes hídricas.

Ley 373 de 1997, por la cual se establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua.

El decreto 1285 de 12 de junio de 2015 del ministerio de vivienda, ciudad y territorio, guía de construcción sostenible en donde en su capítulo 4.2.3. da parámetros básicos para la recolección y reutilización de aguas lluvias.

La Resolución 0330 de 2017 expedida por el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio “Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS.

2.6 ESTADO DEL ARTE

Como se conoce, el hombre siempre ha tratado de aprovechar el agua para su beneficio, ya sea para consumo, riego o hasta transporte. El agua superficial ha brindado de cierta manera un desarrollo en el ser humano que lo ha llevado a su constante evolución, no solo como individuo, sino también como comunidad. Una comunidad convertida en civilización comienza a generar prácticas innovadoras que optimizan los recursos adquiridos, un ejemplo es la del agua lluvia utilizada en los cultivos.

Estas nuevas prácticas generaron nuevas tecnologías y nuevas ideas para poder satisfacer la demanda de las necesidades. Estas tecnologías datan del año 4000 a.c. en países como Jordania e Israel, donde las zonas áridas abarcan gran extensión de terreno, pero poco acceso a agua, por eso surge la necesidad de captar el agua lluvia y poder reutilizarla. Este tipo de prácticas también ocurrieron en el imperio romano del siglo IV a.c. y hasta en la civilización Maya en el siglo X a.c.

Sin embargo, estas prácticas se fueron perdiendo al pasar de los años por diferentes motivos; reemplazadas por nuevas metodologías y nuevas obras para utilizar las aguas superficiales y las aguas subterráneas (presas, pozos de extracción, acueductos. Otro factor que influyó en varias culturas fue la invasión o colonización por parte de otras culturas (España, Inglaterra, etc.) que obligaron a estas poblaciones a abandonar sus costumbres y a adoptar nuevas formas de captación de agua.

Diferentes comunidades siguen utilizando sistemas ya considerados tradicionales de captación y distribución de agua (superficial o subterránea) que eliminan por completo métodos de captación de agua lluvia, lo conlleva a grandes problemáticas. La insuficiencia en la demanda es uno de los grandes problemas para regiones áridas, ya que en periodos secos el agua no es

suficiente para abastecer a las poblaciones y esto repercute en el bajo volumen de abastecimiento y en los altos costos del agua. la idea de utilizar un sistema de aprovechamiento de agua lluvia es el resultado de tres razones principales:

- Necesidades básicas (demanda)
- Utilización de recursos disponibles (precipitación, materiales de construcción, etc.)
- Condiciones ambientales

En la actualidad ya se ha generado una conciencia para la reutilización del agua y mucho más para la captación del agua lluvia y su uso. En países africanos se han implementado tecnologías que se expanden a lo largo del continente, sin embargo, no se han podido ejecutar ya que son tecnologías costosas en la construcción y operación. También existen otras tecnologías de bajos recursos, que le aseguran un buen volumen de captación pero que no garantiza una calidad del agua muy eficiente.

En India ha tomado como solución al problema de suministrar agua potable a 1000 millones de personas, técnicas avanzadas de captación de agua lluvia. Esta agua se almacena en tanques de bajo costo y se reutiliza para uso doméstico. En China, regiones donde su principal actividad económica es la agricultura, presentan problemas de abastecimiento. La solución adoptada por el gobierno chino fue apoyar económicamente a cada familia para poder construir un campo de recolección de agua y de la misma manera adaptar el terreno para cultivo. Este proyecto llamado “121” promueve el desarrollo social y económico de una familia, sin tener en cuenta con una mejor calidad de vida. En Singapur, donde los recursos son limitados y la población y demanda incrementa, los techos de edificios de apartamentos sirven como sistema de captación de agua lluvia que es almacenada en sistema diferente al del agua potable pero que también se utiliza para consumo humano.

En México se inició el proyecto “agua y vida” que es un sistema de aprovechamiento de agua lluvia que es capaz de almacenar 500.000 litros. Seguido a esto, se construyó una obra que consta de dos cubiertas inclinadas, unidas a una tubería que lleva el agua lluvia a un depósito con capacidad de 285.000 litros, de donde se distribuye a las casas y familias más necesitadas.

Como se puede observar, los sistemas de captación de agua lluvia en la actualidad y sus diferentes usos, no es un tema de gran novedad. A lo largo del tiempo han existido diferentes tecnologías que han facilitado que los sistemas de reutilización del agua lluvia sean una solución a los problemas de demanda de agua que está sufriendo la humanidad.

3 METODOLOGÍA

3.1 ALCANCES Y LIMITACIONES

El modelo propuesto tiene limitación geográfica, ya que está calculado para datos típicos medios de Colombia, adicionalmente no considera eventos extremos de sequía o diluvio, como tampoco tiene en cuenta cambios inflacionarios abruptos, ni cambios en los costos del metro cúbico de agua, se calcula a partir del método racional y no tiene en cuenta factores del cambio climático.

Se supone que la lluvia es uniforme en el tiempo (intensidad constante)

3.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Se manejará una investigación proyectiva, generando un modelo para la evaluación de factibilidad de reutilización de aguas lluvias en edificaciones.

3.3 INSTRUMENTOS O HERRAMIENTAS UTILIZADAS

- Excel
- Project
- Word

3.4 FASES DEL TRABAJO DE GRADO

- Selección de varios proyectos ya ejecutados; uno por cada tipo de uso en estudio en los que se estén reutilizando las aguas lluvias.
- Cálculo de costos aproximados para implementación de un sistema de reutilización de aguas lluvias, teniendo en cuenta factores como lo son el área, la altura y la ubicación.
- Hallar el tiempo de retorno de inversión inicial y el ahorro previsto anual.

- Construir un modelo utilizando Excel que le permita que el usuario evaluar el sistema en una edificación existente.
- Aplicación del modelo para dos edificaciones proyectadas y una existente.

4 ELABORACIÓN DEL MODELO

4.1 DEFINICIÓN DE PARAMETROS DE ENTRADA AL MODELO

4.1.1 SMMLV (Salario mínimo mensual legal vigente)

Se refiere al salario mínimo mensual legal vigente, del año en curso en el que se está generando la modelación. Tiene incidencia directamente sobre el costo de la red.

4.1.2 Ubicación

Relacionado con el costo de metro cúbico de agua, valor de la red, costo de la inversión inicial, la intensidad de precipitación, parámetro con el cual se va a calcular el volumen del tanque, volumen de agua a aprovechar. Se selecciona de una lista desplegable con opción de elección: Bogotá, Soacha, Barranquilla, Chía, Cali, Cartagena y Medellín.

4.1.3 Estrato o sector

Influye sobre el costo de la red y el costo del metro cúbico de agua. Se selecciona de una lista desplegable con opción de elección: Estrato 1, Estrato 2, Estrato 3, Estrato 4, Estrato 5, Estrato 6, Comercial y Oficial.

4.1.4 Tipo de uso de la edificación

Dependiente del estrato o sector seleccionado anteriormente, se selecciona de una lista desplegable con diferentes usos entre los que están: Reunión, Negocio, Educativo, Fabrica, Institucional, Comercial y Residencial.

4.1.5 Uso exacto de la edificación

De acuerdo al uso de la edificación elegido, se debe seleccionar de una lista desplegable más específica, el uso de la edificación entre los que se encuentran: Teatros o cines, Restaurantes, Oficinas, Instituciones de educación, Hospitales, Prisiones, Centros comerciales, Hoteles, Apartamentos, entre otros. Afecta el costo de la red y el caudal de agua potable en usos no potables.

4.1.6 Área de cubierta

Es el área aprovechable para la óptima recolección y manejo de aguas lluvias, dentro del proyecto. Relaciona directamente el caudal de agua lluvia y por tanto el volumen de almacenamiento de agua tratada.

4.1.7 Altura a cubierta

Dado que las cubiertas son el lugar donde se realiza la captación de aguas lluvias, y asumiendo que el tanque de almacenamiento se encuentra bajo el piso 1, la altura a cubierta se usa para la estimación del costo de la red.

4.1.8 Costo promedio bimestral de consumo de agua del proyecto

Todo proyecto debe pagar un precio por el agua que es suministrada para su respectivo uso. Este parámetro señala cual es el costo promedio bimestral de todo el proyecto (se debe ingresar bimestral ya que algunos de los lugares escogidos hacen una factura al consumo cada dos meses y otros cada mes), esto con el objetivo de poder informar al usuario cual sería el costo del consumo de agua luego de haber implementado un sistema de reutilización de aguas lluvias.

4.1.9 Población

Se refiere al número de personas que habitan el proyecto o que están utilizando de manera continua los aparatos sanitarios. Esto es necesario para poder hacer el cálculo del caudal de demanda del proyecto.

4.1.10 Proyecto nuevo o existente

Incide en el caudal de agua potable para usos no potables, teniendo como premisa que los equipos sanitarios a través de los años han disminuido su consumo por descarga.

4.1.11 Caudal Industrial

Como se conoce, gran parte de la industria requiere grandes volúmenes de agua para uso diferente de consumo humano. Los principales usos de agua para uso industrial son como por ejemplo procesos de enfriamiento, limpieza, o hasta elaboración de productos. Estos caudales solo se pueden calcular con un registro histórico que sea llevado por usuario.

4.1.12 Caudal de riego

El sector agrícola es uno de los mayores consumidores de volúmenes de agua en el mundo. Sus extensas áreas y altas demandas de volúmenes de agua, deben llevar un registro histórico por el propietario del terreno, es por esto que el caudal de riego debe ser calculado por medio de este registro histórico o por el consumo promedio que el usuario señale.

4.2 PROCESO DE ANALISIS DEL MODELO (ANALISIS INTERNO DEL MODELO SEGÚN PARAMETROS DE ENTRADA)

4.2.1 Caudal de agua potable para usos no potables

Se refiere al caudal de agua potable que llega del acueducto y que es utilizado en actividades no potables, como por ejemplo los sanitarios, orinales, usos industriales o agrícolas.

El cálculo de este caudal está compuesto por la sumatoria de tres (3) caudal de consumo, caudal de riego y caudal industrial (estos dos últimos anteriormente descritos). El caudal de consumo es calculado en función de la población que habita el proyecto; si el proyecto es nuevo o existente; y el número de descargas por persona dependiendo del tipo de uso del proyecto.

Según la Guía de referencia LEED para operaciones y mantenimiento de edificios de bajo impacto ambiental de LEED (LEED Reference Guide for Green Building Operations, 2009), y luego de una información recopilada, se establece que, dependiendo del uso de edificación, se ha utilizado un tipo de accesorio con volúmenes de descargas diferentes. Es entonces donde el parámetro “Proyecto nuevo o existente” aparece en la importancia del modelo. De la información recopilada se concluye la Tabla 4-1:

Tabla 4-1. Galones por descarga en aparatos de plomería. Fuente: Guía de referencia LEED para operaciones y mantenimiento de edificios de bajo impacto ambiental de LEED

| ACCESORIO SANITARIO | Nuevo | Existente |
|---------------------------------------------|--------------|------------------|
| Inodoros (galones por descarga, gpf) | 1.28 | 1.60 |
| Orinales (galones por descarga, gpf) | 0.5 | 1.00 |

La guía LEED también señala que dependiendo del tipo de uso del proyecto (clasificado en residencial y no residencial) habrá un número de descarga por persona, Esto está presentado en la Tabla 4-2 y Tabla 4-3:

Tabla 4-2. Descargas por accesorio para usos no residencial. Guía de referencia LEED para operaciones y mantenimiento de edificios de bajo impacto ambiental de LEED

| TIPO DE ACCESORIO | Usos/Día | | | |
|--------------------------|------------------|--------------------|----------------------|--------------------|
| | Frecuente | Transitorio | Cliente menor | Estudiantes |
| Inodoro (Mujer) | 3 | 0.5 | 0.2 | 3 |
| Inodoro (Hombre) | 1 | 0.1 | 0.1 | 1 |
| Orinal (Hombre) | 2 | 0.4 | 0.1 | 2 |

Tabla 4-3. Descargas por accesorio para uso residencial. Guía de referencia LEED para operaciones y mantenimiento de edificios de bajo impacto ambiental de LEED

| TIPO DE ACCESORIO | Usos/Día |
|-------------------|----------|
| Inodoro (Mujer) | 5 |
| Inodoro (Hombre) | 5 |

Ya con estos valores establecidos, podemos calcular el caudal de consumo con la siguiente formula:

$$Q_{consumo}(m^3/mes) = Poblacion * \# \text{ des } x \text{ persona} * (Q_{desc \text{ inod}} + Q_{desc \text{ orinal}})$$

De esta manera, ya con todos los caudales calculados, procedemos a hacer la sumatoria de caudales para poder determinar el caudal total de agua potable utilizada en usos no potables:

$$Q_{Potable}(m^3/mes) = Q_{Ind} + Q_{Agricola} + Q_{Consumo}$$

4.2.2 Volumen estimado de agua lluvia en tanque

El volumen del tanque de aguas lluvias, se halla usando un hidrograma unitario y usando las precipitaciones medidas por el IDEAM en los diferentes aeropuertos de las ciudades analizadas como se muestra en la Tabla 4-4 Precipitaciones medidas por el IDEAM en los diferentes aeropuertos de las ciudades analizadas, aplicando el método del Soil Conservation Service.

Tabla 4-4 Precipitaciones medidas por el IDEAM en los diferentes aeropuertos de las ciudades analizadas Fuente: IDEAM

| CIUDAD | PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL (mm) | PRECIPITACIÓN MÁXIMA ANUAL (mm) | # DÍAS DE LLUVIA PROMEDIO MENSUAL |
|--------------|--------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|
| BOGOTÁ | 65 | 110 | 13 |
| SOACHA | 65 | 110 | 13 |
| BARRANQUILLA | 68 | 160 | 8 |
| CHÍA | 65 | 110 | 13 |

| | | | |
|------------------|-----|-----|----|
| CALI | 73 | 120 | 8 |
| CARTAGENA | 90 | 250 | 8 |
| MEDELLÍN | 132 | 210 | 17 |

4.2.3 Cálculo de costo de agua para usos no potables

Se ha determinado que el valor del m³ de agua está en función de la ubicación del proyecto y el tipo de uso o estrato del mismo. Como es lógico afirmar el m³ de agua en la ciudad de Bogotá no tiene el mismo precio con el m³ de agua de la ciudad de Barranquilla, o aun así los valores de estas ciudades varían dependiendo el estrato al cual va dirigido o al tipo de zona comercial o industrial al cual se le está entregando una cantidad de agua. Es por este motivo que el modelo requiere estos parámetros de ingreso: Ubicación y Estrato o sector.

De acuerdo a información recopilada de las diferentes empresas de servicios públicos de agua y alcantarillado, las tarifas de las ciudades están discriminadas en ciudad y sector, y cada uno de estas tiene un cargo fijo, consumo básico y un consumo no básico. Por practicidad se va a asumir que el caudal de agua potable para usos no potables estará dentro de los rangos de consumos básicos; y para poder obtener un valor anual, vamos a multiplicar por 6 este valor ya que el cargo fijo de la mayoría de acueductos está en un periodo bimestral (aunque existen otros acueductos que su periodo de facturación es mensual). Los valores de costo se presentan en la Tabla 4-5:

Tabla 4-5. Tarifas por m³ de agua según sector y ciudad. Fuente: Recopilación tarifas de ciudades acueductos (Empresa de acueducto y alcantarillado de Bogotá, 2019), (Triple A S.A. E.S.P., 2019)

| Ciudad | Sector | CARGO FIJO \$/Suscriptor/2 meses | CONSUMO BÁSICO \$/m ³ | CONSUMO NO BÁSICO \$/m ³ |
|---------------|-----------------|-------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------------|
| Bogotá | Estrato1 | \$ 3.891,76 | \$ 760,15 | \$ 2.533,84 |
| | Estrato2 | \$ 7.783,52 | \$ 1.520,30 | \$ 2.533,84 |
| | Estrato3 | \$ 11.026,66 | \$ 2.153,76 | \$ 2.533,84 |
| | Estrato4 | \$ 12.972,54 | \$ 2.533,84 | \$ 2.533,84 |
| | Estrato5 | \$ 29.058,48 | \$ 3.927,45 | \$ 3.927,45 |

| | | | | |
|---------------------|-------------------|--------------|-------------|-------------|
| | Estrato6 | \$ 35.544,76 | \$ 4.180,84 | \$ 4.180,84 |
| | COMERCIAL | \$ 19.458,82 | \$ 3.800,76 | |
| | INDUSTRIAL | \$16.864,30 | \$ 3.496,70 | |
| | OFICIAL | \$12.972,54 | \$ 2.533,84 | |
| Soacha | Estrato1 | \$ 3.891,76 | \$ 895,12 | \$2.263,27 |
| | Estrato2 | \$ 7.783,52 | \$ 1.860,41 | \$ 2.263,27 |
| | Estrato3 | \$ 12.972,54 | \$ 2.263,27 | \$ 2.263,27 |
| | Estrato4 | \$ 12.972,54 | \$ 2.263,27 | \$ 2.263,27 |
| | Estrato5 | \$ 29.058,48 | \$ 4.119,15 | \$ 4.119,15 |
| | Estrato6 | \$ 35.544,76 | \$ 4.119,15 | \$ 4.119,15 |
| | COMERCIAL | \$ 19.458,82 | \$4.005,99 | |
| | INDUSTRIAL | \$ 16.864,30 | \$4.119,15 | |
| | OFICIAL | \$ 12.972,54 | \$2.263,27 | |
| Barranquilla | Estrato1 | \$ 4.370,31 | \$1.125,20 | \$ 2.163,84 |
| | Estrato2 | \$ 5.294,80 | \$1.363,22 | \$ 2.163,84 |
| | Estrato3 | \$ 7.564,01 | \$1.947,46 | \$ 2.163,84 |
| | Estrato4 | \$ 8.404,45 | \$2.163,84 | \$ 2.163,84 |
| | Estrato5 | \$ 14.287,57 | \$3.678,53 | \$ 3.678,53 |
| | Estrato6 | \$ 15.296,10 | \$3.938,19 | \$ 3.938,19 |
| | COMERCIAL | \$ 13.447,12 | \$3.462,14 | \$ 3.462,14 |
| | INDUSTRIAL | \$ 12.522,63 | \$3.224,12 | \$ 3.224,12 |
| | OFICIAL | \$ 8.404,45 | \$2.163,84 | \$ 2.163,84 |
| Chía | Estrato1 | \$ 1.431,44 | \$ 748,07 | \$ 2.493,54 |
| | Estrato2 | \$ 2.862,87 | \$1.496,13 | \$ 2.493,54 |
| | Estrato3 | \$ 4.055,73 | \$2.119,51 | \$ 2.493,54 |
| | Estrato4 | \$ 4.771,46 | \$2.493,54 | \$ 2.493,54 |
| | Estrato5 | \$ 7.157,18 | \$3.740,32 | \$ 3.740,32 |
| | Estrato6 | \$ 7.634,33 | \$3.989,67 | \$ 3.989,67 |
| | COMERCIAL | \$ 7.157,18 | \$3.740,32 | \$ 3.740,32 |
| | INDUSTRIAL | \$ 6.202,89 | \$3.241,61 | \$ 3.241,61 |
| | OFICIAL | \$ 4.771,46 | \$2.493,54 | \$ 2.493,54 |
| Cali | Estrato1 | \$ 2.131,01 | \$ 687,99 | \$ 2.149,96 |
| | Estrato2 | \$ 4.594,99 | \$1.483,47 | \$ 2.149,96 |
| | Estrato3 | \$ 6.592,82 | \$2.128,46 | \$ 2.149,96 |
| | Estrato4 | \$ 6.659,41 | \$2.149,96 | \$ 2.149,96 |
| | Estrato5 | \$ 10.055,71 | \$3.246,44 | \$ 3.246,44 |
| | Estrato6 | \$ 10.721,65 | \$3.461,44 | \$ 5.226,77 |
| | COMERCIAL | \$ 10.122,30 | \$3.267,94 | \$ 3.267,94 |

| | | | | |
|-------------------|-------------------|-----------------|-------------|-------------|
| | INDUSTRIAL | \$ 8.790,42 | \$2.837,95 | \$ 2.837,95 |
| | OFICIAL | \$ 6.659,41 | \$2.149,96 | \$ 2.149,96 |
| Cartagena | Estrato1 | \$ 6.987,47 | \$ 934,07 | \$ 1.751,49 |
| | Estrato2 | \$ 8.209,92 | \$1.097,49 | \$ 1.751,49 |
| | Estrato3 | \$ 11.268,00 | \$1.506,29 | \$ 1.751,49 |
| | Estrato4 | \$ 13.102,32 | \$1.751,49 | \$ 1.751,49 |
| | Estrato5 | \$ 19.653,49 | \$2.627,24 | \$ 2.627,24 |
| | Estrato6 | \$ 20.963,72 | \$2.802,39 | \$ 2.802,39 |
| | COMERCIAL | \$ 19.653,49 | \$2.627,24 | \$ 2.627,24 |
| | INDUSTRIAL | \$ 17.033,02 | \$2.276,94 | \$ 2.276,94 |
| | OFICIAL | \$ 13.102,32 | \$1.751,49 | \$ 1.751,49 |
| | Medellín | Estrato1 | \$ 2.469,14 | \$1.007,16 |
| Estrato2 | | \$ 3.703,72 | \$1.510,73 | \$ 2.517,89 |
| Estrato3 | | \$ 5.401,25 | \$2.203,15 | \$ 2.517,89 |
| Estrato4 | | \$ 6.172,86 | \$2.517,89 | \$ 2.517,89 |
| Estrato5 | | \$ 9.259,29 | \$3.779,84 | \$ 3.776,84 |
| Estrato6 | | \$ 9.876,58 | \$4.028,62 | \$ 4.028,62 |
| COMERCIAL | | \$ 9.259,29 | \$3.776,84 | \$ 3.776,84 |
| INDUSTRIAL | | \$ 8.024,72 | \$3.273,26 | \$ 3.273,26 |
| OFICIAL | | \$ 6.172,86 | \$2.517,89 | \$ 2.517,89 |

Ya teniendo el costo promedio del m³ del agua, se procede a calcular el costo anual de agua en usos no potables aplicando la siguiente Ecuación:

$$\text{Costo anual Agua usos no potables} = (Q \text{ agua potable para usos no potables} * \text{tarifa m}^3 \text{ de agua}) * 6$$

4.2.4 Cálculo del costo de las estructuras requeridas para realizar la reutilización de aguas lluvias

Este cálculo se ve reflejado como la INVERSIÓN INICIAL del usuario para poder implementar un sistema que reutilice las aguas lluvias. Está compuesto por tres (3) variables que son: Costo de la PTALL, Costo de las redes de captación y suministro, y Costo de Tanque de almacenamiento. Esta inversión inicial se representa con la siguiente fórmula:

$$Inversion\ inicial = Costo_{PTALL} + Costo_{redes} + Costo_{tanque}$$

4.2.4.1 Planta de tratamiento de aguas lluvias (PTALL)

Según cotizaciones hechas en varias empresas proveedoras de plantas de tratamiento, se pudo obtener valores para un caudal mínimo, el cual se estableció que era de 0,1 litros por segundo. También se hicieron cotizaciones de un segundo caudal aleatorio que fue de 1 litro por segundo, esto con el objetivo de poder hacer una ecuación lineal que pudiera calcular el costo aproximado de una PTALL en función del caudal. Al evaluar estos dos puntos y se pudo obtener la siguiente ecuación:

$$Costo\ PTALL = \$25'666.667Q + \$9'333.333$$

De esta ecuación podemos obtener la Tabla 4-6 con la que vamos a trabajar para calcular el costo en función del caudal manejado:

Tabla 4-6. Costo aprox. PTALL en función de caudal de operación. Fuente: Propia

| Caudal de funcionamiento (LPS) | Costo Aproximado de PTALL |
|--------------------------------|---------------------------|
| 0,1 | \$ 11.900.000 |
| 0,2 | \$ 14.466.667 |
| 0,3 | \$ 17.033.333 |
| 0,4 | \$ 19.600.000 |
| 0,5 | \$ 22.166.667 |
| 0,6 | \$ 24.733.333 |
| 0,7 | \$ 27.300.000 |
| 0,8 | \$ 29.866.667 |
| 0,9 | \$ 32.433.333 |
| 1 | \$ 35.000.000 |
| 1,1 | \$ 37.566.667 |
| 1,2 | \$ 40.133.333 |
| 1,3 | \$ 42.700.000 |
| 1,4 | \$ 45.266.667 |
| 1,5 | \$ 47.833.333 |
| 1,6 | \$ 50.400.000 |
| 1,7 | \$ 52.966.667 |

| | |
|-----|---------------|
| 1,8 | \$ 55.533.333 |
| 1,9 | \$ 58.100.000 |
| 2 | \$ 60.666.667 |

Con esta tabla se programa el modelo de tal forma que evalúe el caudal de agua potable en usos no potables, y calcule un costo aproximado de la PTALL.

4.2.4.2 Redes de captación de aguas lluvias y suministro de agua tratada para usos no potables

Debido a la incertidumbre que se tiene a la hora de realizar un diseño hidrosanitario con solo parámetros de área, población y usos de la edificación, se usaron índices basados en juicio de expertos, en donde se tienen valores de las redes de acuerdo a área y población. Para posteriormente realizar una afectación a estos valores de acuerdo a los estratos y ciudades analizadas.

4.2.4.3 Tanque de almacenamiento de agua lluvia

Como se sabe, el costo de los insumos está en función de la inflación que presenta la economía del país; en este caso, el costo de los insumos y la construcción estará en función del SMMLV (Parámetro requerido en el inicio del modelo). De acuerdo a cotizaciones hechas, el valor de los insumos se puede calcular como un factor del SMMLV, de esta manera se pueden obtener los precios unitarios para diferentes volúmenes que requiera el tanque.

Para calcular el costo del tanque en función del volumen de almacenamiento se evaluaron varios volúmenes de tanque, para posteriormente realizar una regresión lineal, de la cual se pudo obtener la siguiente ecuación:

$$Costo_{Tanque} = \frac{APU_{Tanque} * Vol_{Tanque}}{1.3282Ln(Vol_{Tanque}) - 1.5262}$$

4.3 PARAMETROS DE SALIDA DEL MODELO DE FACTIBILIDAD

4.3.1 Número de días con agua de reserva en tanque para reutilización de aguas lluvias

Como criterio de diseño se establece que el almacenamiento sea máximo para una reserva de 30 días, para evitar grandes volúmenes de tanques. Los cuales impactan fuertemente los costos de inversión inicial.

4.3.2 Valor de la inversión inicial y costos de mantenimiento en el tiempo

El valor de la inversión inicial hace referencia al capítulo 4.2.4 4.2.4Cálculo del costo de las estructuras requeridas para realizar la reutilización de aguas lluvias, donde señala los procedimientos requeridos para calcular los valores de las estructuras necesarias.

Adicional a esto se plantea de igual manera un costo de mantenimiento aproximado al 10% con respecto al valor inicial de inversión. Este porcentaje fue tomado gracias al criterio de expertos y lecciones aprendidas por varios proveedores de plantas de tratamiento, y costos aproximados en limpieza de tanques. También se hace la aclaración que este costo de mantenimiento se aplica cada diez (10) años.

4.3.3 Nuevo costo promedio bimestral de consumo de agua potable del proyecto

Como se establece anteriormente, el objetivo del modelo es poder disminuir los costos de facturación de agua del proyecto; por lo tanto, se calcula un costo de agua para usos no potables. Este ítem señala el posible ahorro que se puede llegar a tener en la facturación bimestral, calculado por medio del análisis hecho en el ítem 4.2.3 Cálculo de costo de agua para usos no potables, y el parámetro de ingreso 4.1.8 Costo promedio bimestral de consumo de agua del proyecto, con los cuales podemos aplicar la siguiente ecuación:

$$Ncpa_{bimestral} = \frac{(Cpa_{bimestral} * 6) - Canp_{anual}}{6}$$

Donde:

- Ncpa bimestral = Nuevo costo promedio bimestral de agua del proyecto
- Cpa bimestral = Costo promedio bimestral de agua del proyecto
- Canp anual = Costo de agua potable para usos no potables

4.3.4 Tiempo aproximado para recuperar la inversión inicial

Dada la economía del país, y partiendo de la afirmación de que el precio del dinero no es el mismo hoy que mañana, nos basamos en la idea de que la recuperación de la inversión inicial será escalonada pero no de manera lineal sino de manera exponencial. Teniendo en cuenta esta afirmación, se buscó una fórmula que pudiera validar dicha conclusión y se encontró, en las matemáticas financieras, el VALOR PRESENTE NETO que se define como el procedimiento para traer al presente el valor de una serie de flujos de caja futuros, la cual se representa con la siguiente ecuación:

$$VPN = I_0 - \sum \frac{V_t}{(1 + k)^t}$$

Donde:

- VPN= Valor presente neto
- I₀= Inversión inicial
- V_t= Flujo de caja (En nuestro caso sería Canp)
- K= tasa de inversión (Inflación del país)
- T= Años en el tiempo luego de la inversión

Según datos históricos del DANE, la tasa de inflación o el IPC (Índice de precios de consumo), no presenta un comportamiento tendencial muy exacta. En la Tabla 4-7. Índice de precios de consumidor (IPC) 2003-2019, podemos ver que los valores del IPC anuales varían

bastante con respecto a los años anteriores, y es por este motivo que se decide tomar un valor promedio de los últimos 15 años. Este valor corresponde a un índice porcentual de 4,5% anual, el cual va a ser la tasa de inversión con la que va a trabajar el modelo.

Ya con estos parámetros establecidos debemos tener en cuenta de igual manera los costos de mantenimiento que se establecieron en los años 10 y 20 después de poner en funcionamiento todo el sistema, es de esa manera que la fórmula de VPN cambia de la siguiente manera:

$$VPN_{0-9} = I_0 - \sum \frac{Vt}{(1+k)^t}$$

$$VPN_{10-19} = 1,1I_0 - \sum \frac{Vt}{(1+k)^t}$$

$$VPN_{20-29} = 1,2I_0 - \sum \frac{Vt}{(1+k)^t}$$

Gracias a esta metodología se puede conocer el punto exacto en el que la inversión inicial se ha recuperado por completo, esto se puede afirmar en el momento en el que el VPN sea menor o igual a cero, evaluado en un tiempo determinado. Para facilidad del modelo, y poder determinar tanto visual como numéricamente, se hace un diagrama de flujo de inversión que muestra el comportamiento del VPN. Cabe aclarar que esta grafica también contempla las inversiones de mantenimiento cada 10 años (año 10 y año 20 después de poner en funcionamiento el sistema)

Tabla 4-7. Índice de precios de consumidor (IPC) 2003-2019. Fuente: DANE

Colombia, Índice de Precios al Consumidor (IPC)

(variaciones porcentuales)
2003 - 2019

AÑO 2019, MES 1

Base Diciembre de 2018 = 100,00

| Mes | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 |
|----------------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|-------|-------|-------|------|
| Enero | 1,17 | 0,89 | 0,82 | 0,54 | 0,77 | 1,06 | 0,59 | 0,69 | 0,91 | 0,73 | 0,30 | 0,49 | 0,64 | 1,29 | 1,02 | 0,63 | 0,60 |
| Febrero | 1,11 | 1,20 | 1,02 | 0,66 | 1,17 | 1,51 | 0,84 | 0,83 | 0,60 | 0,61 | 0,44 | 0,63 | 1,15 | 1,28 | 1,01 | 0,71 | |
| Marzo | 1,05 | 0,98 | 0,77 | 0,70 | 1,21 | 0,81 | 0,50 | 0,25 | 0,27 | 0,12 | 0,21 | 0,39 | 0,59 | 0,94 | 0,47 | 0,24 | |
| Abril | 1,15 | 0,46 | 0,44 | 0,45 | 0,90 | 0,71 | 0,32 | 0,46 | 0,12 | 0,14 | 0,25 | 0,46 | 0,54 | 0,50 | 0,47 | 0,46 | |
| Mayo | 0,49 | 0,38 | 0,41 | 0,33 | 0,30 | 0,93 | 0,01 | 0,10 | 0,28 | 0,30 | 0,28 | 0,48 | 0,26 | 0,51 | 0,23 | 0,25 | |
| Junio | -0,05 | 0,60 | 0,40 | 0,30 | 0,12 | 0,86 | -0,06 | 0,11 | 0,32 | 0,08 | 0,23 | 0,09 | 0,10 | 0,48 | 0,11 | 0,15 | |
| Julio | -0,14 | -0,03 | 0,05 | 0,41 | 0,17 | 0,48 | -0,04 | -0,04 | 0,14 | -0,02 | 0,04 | 0,15 | 0,19 | 0,52 | -0,05 | -0,13 | |
| Agosto | 0,31 | 0,03 | 0,00 | 0,39 | -0,13 | 0,19 | 0,04 | 0,11 | -0,03 | 0,04 | 0,08 | 0,20 | 0,48 | -0,32 | 0,14 | 0,12 | |
| Septiembre | 0,22 | 0,30 | 0,43 | 0,29 | 0,08 | -0,19 | -0,11 | -0,14 | 0,31 | 0,29 | 0,29 | 0,14 | 0,72 | -0,05 | 0,04 | 0,16 | |
| Octubre | 0,06 | -0,01 | 0,23 | -0,14 | 0,01 | 0,35 | -0,13 | -0,09 | 0,19 | 0,16 | -0,26 | 0,16 | 0,68 | -0,06 | 0,02 | 0,12 | |
| Noviembre | 0,35 | 0,28 | 0,11 | 0,24 | 0,47 | 0,28 | -0,07 | 0,19 | 0,14 | -0,14 | -0,22 | 0,13 | 0,60 | 0,11 | 0,18 | 0,12 | |
| Diciembre | 0,61 | 0,30 | 0,07 | 0,23 | 0,49 | 0,44 | 0,08 | 0,65 | 0,42 | 0,09 | 0,26 | 0,27 | 0,62 | 0,42 | 0,38 | 0,30 | |
| En año corrido | 6,49 | 5,50 | 4,85 | 4,48 | 5,69 | 7,67 | 2,00 | 3,17 | 3,73 | 2,44 | 1,94 | 3,66 | 6,77 | 5,75 | 4,09 | 3,18 | 0,60 |

5 APLICACIONES DEL MODELO

5.1 PROYECTO EXISTENTE 1 (EDIFICIO OFICINAS AMARILO-BOGOTÁ)

5.1.1 Descripción

El proyecto EDIFICIO CORPORATIVO AMARILO se localiza en la Calle 90 N°11A-11/31 en la ciudad de Bogotá D.C., en el nororiente de la ciudad correspondiente a la localidad de Usaquén.

El proyecto consta de un edificio de 7 pisos para oficinas y 3.5 sótanos para parqueaderos. El área aproximada del proyecto son 9134 m² con un área en la cubierta de 815 m².

El proyecto se localizará en un lote con un área neta de 0.12 hectáreas aproximadamente, y se proyecta una población aproximada de 450 habitantes.



Figura 5-1 Imagen aérea del edificio oficinas Amarillo-Bogotá

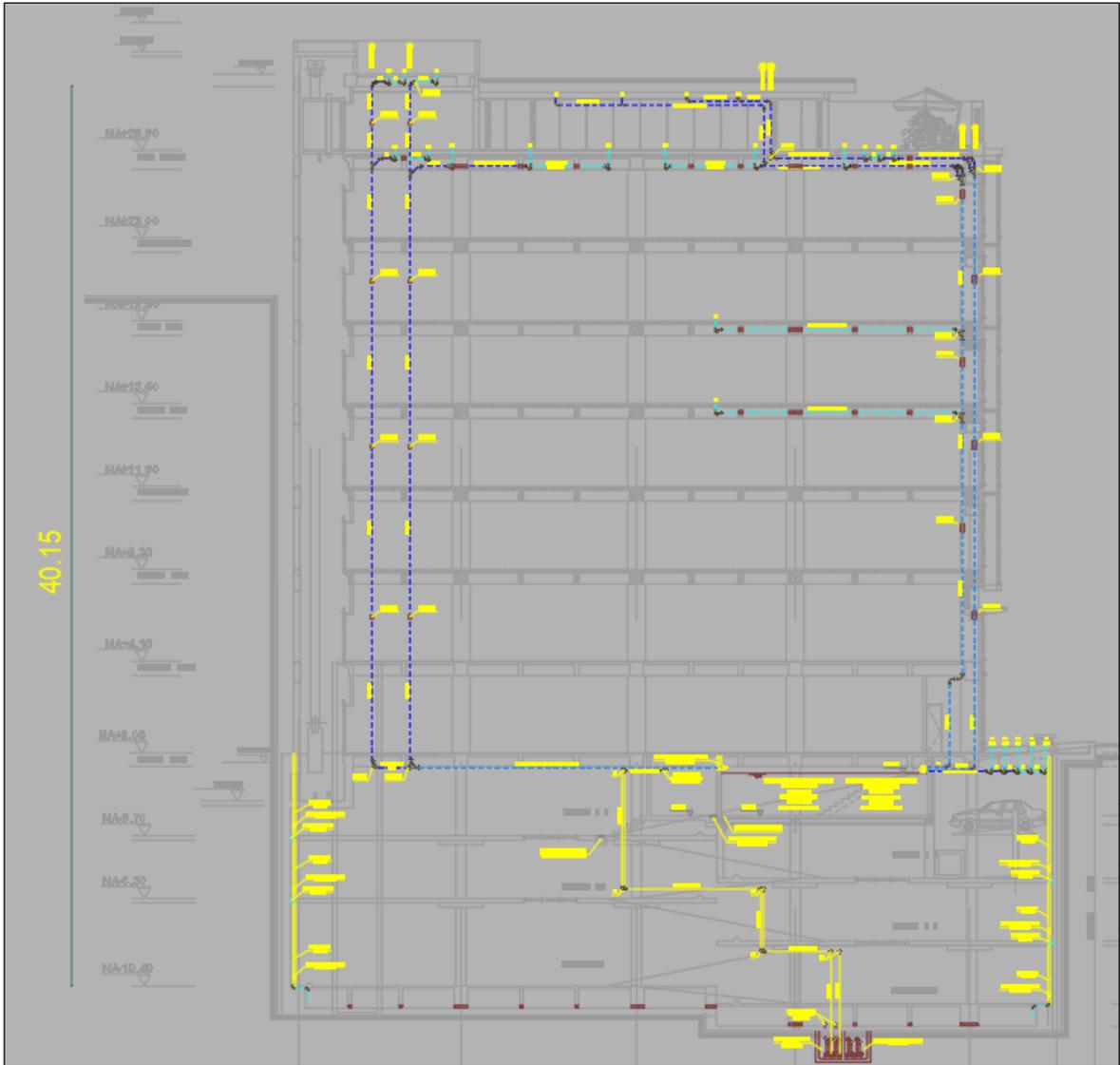


Figura 5-2 Corte longitudinal del edificio oficinas Amarillo-Bogotá

5.1.2 Parámetros de entrada

| VARIABLES INICIALES | | | |
|-------------------------------------------|----|-----------------------------------------------|---------|
| ITEM | | UNIDAD | |
| SMMLV | \$ | | 828,116 |
| Ubicación | | Bogotá | |
| Estrato o sector | | COMERCIAL | |
| Tipo de uso de la edificación | | _2.Negocio | |
| Uso exacto de edificación | | Comercio, oficinas, bancos, industria liviana | |
| Área cubierta (m ²) | | 800 | |
| Altura a cubierta (m) | | 40.15 | |
| Costo bimestral de agua del proyecto | | | |
| Población | | 451 | |
| ¿Proyecto nuevo o existente? | | Nuevo | |
| En caso de ser proyecto industrial | | | |
| Caudal industrial (l/s) | | 0 | |
| En caso de ser proyecto agrícola | | | |
| Caudal de riego (l/s) | | 0 | |

Figura 5-3 Variables iniciales ingresadas al modelo para realizar el análisis del edificio oficinas Amarilo-Bogotá

5.1.3 Resultados

| RESULTADOS | | | |
|---------------------------------------------|-------------|------------|-------------------|
| ITEM | UNIDAD | CANTIDAD | |
| Caudal agua potable para usos no potables | M3/mes | 182.070504 | |
| Volumen estimado de agua lluvia en tanque | m3 | 182 | |
| Días con agua de reserva para re uso | Día | 29 | |
| Costo de agua para usos no potables | \$ | \$ | 692,006 |
| Costo de agua anual para usos no potables | \$ | \$ | 8,304,075 |
| Valor inversión inicial | \$ | \$ | 40,458,247 |
| Nuevo costo promedio bimestral | \$ | -\$ | 1,384,013 |
| Tiempo para recuperar la inversión | Años | 6 | |

Figura 5-4 Resultados del modelo aplicado para el edificio oficinas Amarilo-Bogotá

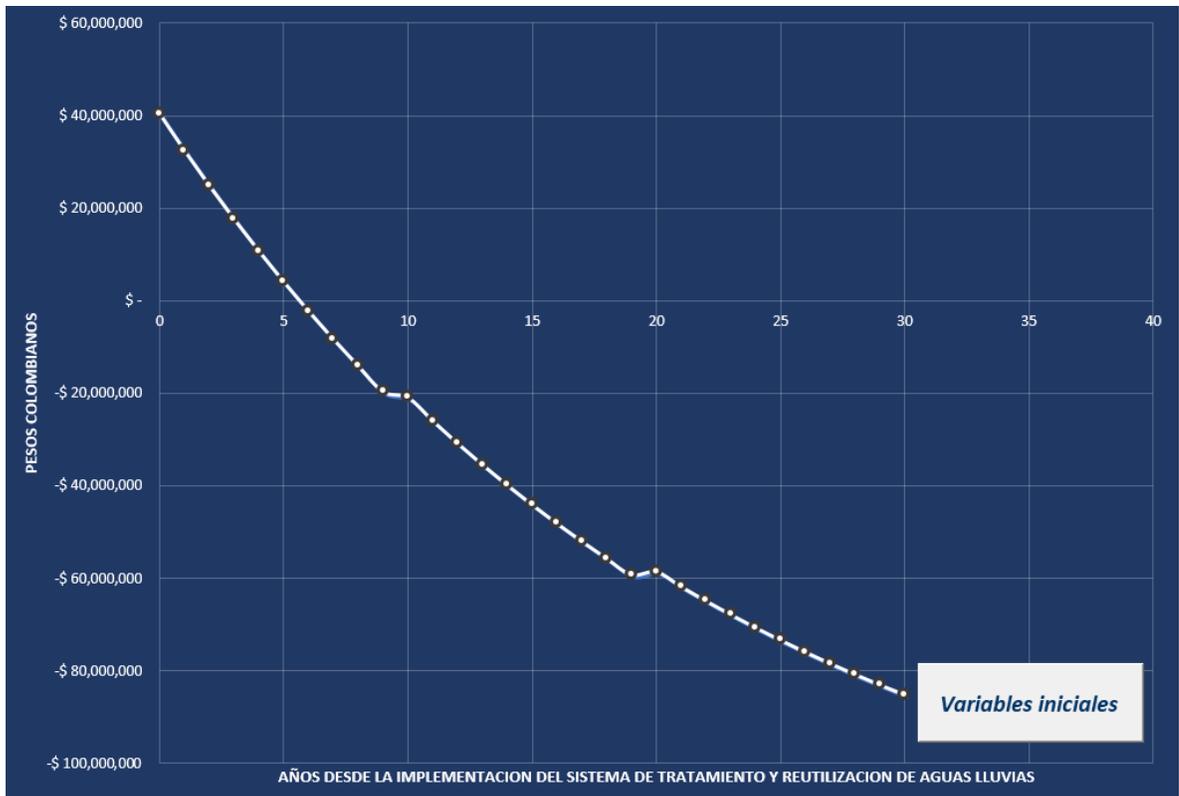


Figura 5-5 Gráfica de inversión para el edificio oficinas Amarillo-Bogotá

5.2 PROYECTO EXISTENTE 2 (SEDE FEDERACION COLOMBIANA DE FUTBOL - BARRANQUILLA)

5.2.1 Descripción

El proyecto está compuesto por 5 bloques o edificaciones que se desarrollan de diferente manera dependiendo de su función y su frecuencia de uso.

Bloque 1, es el edificio que enmarca el acceso al proyecto, consta de un auditorio con capacidad para 160 personas, recepción, espacio para aulas y oficinas de la FCF, baterías de baños para hombres y mujeres. Único edificio de carácter público en la sede de la Selección albergando

diferentes usos y permitiendo realizar actividades con medios de comunicación, jugadores, invitados o visitantes ocasionales.

Bloque 2, contiene los usos de restaurante con capacidad para 80 personas y cocina debidamente climatizado, servirá para atender los eventos en auditorios y salas, así como para atender en debida forma durante la permanencia de los Jugadores y el cuerpo técnico.

Bloque 3, será un bloque destinado a la relajación, diversión, capacitación y reunión de los jugadores.

Bloque 4, está destinado al acondicionamiento físico, albergando usos específicos de Gimnasio, fisioterapia, zonas húmedas, baterías de baños y servicios, cambiadores, lockers, piscina para recuperación muscular y terapia.

Bloque 5 es de apoyo directo a las canchas de Fútbol. Cuenta con 2 camerinos equipados para 2 equipos, depósitos de utilería, depósito de jardinería y mantenimiento de las canchas, enfermería, una bahía de parqueo para ambulancias y buses de equipos y un acceso independiente para mayor control.

El proyecto comprende también el espacio para 3 campos de fútbol con las medidas reglamentarias FIFA iguales a las medidas de la cancha de estadio Metropolitano de Barranquilla, las cuales consumen un total de 90m³ de agua en riego por día.



Figura 5-6 Imagen aérea de la sede Federación Colombiana De Fútbol -Barranquilla



Figura 5-7 Desarrollo del proyecto Federación Colombiana De Futbol –Barranquilla

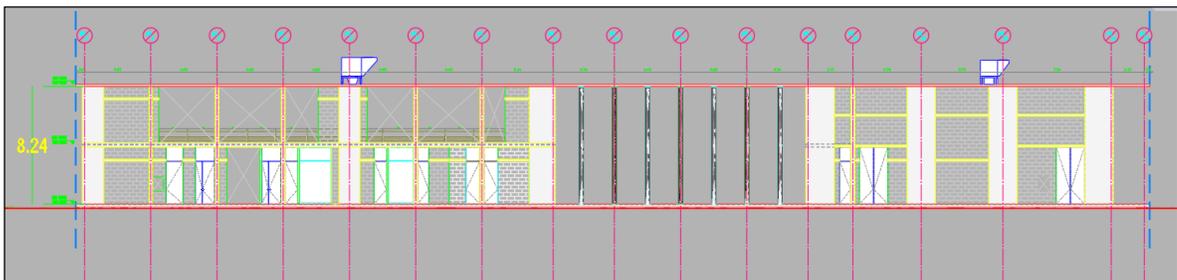


Figura 5-8 Corte longitudinal de la torre 1 de la Federación Colombiana De Futbol - Barranquilla

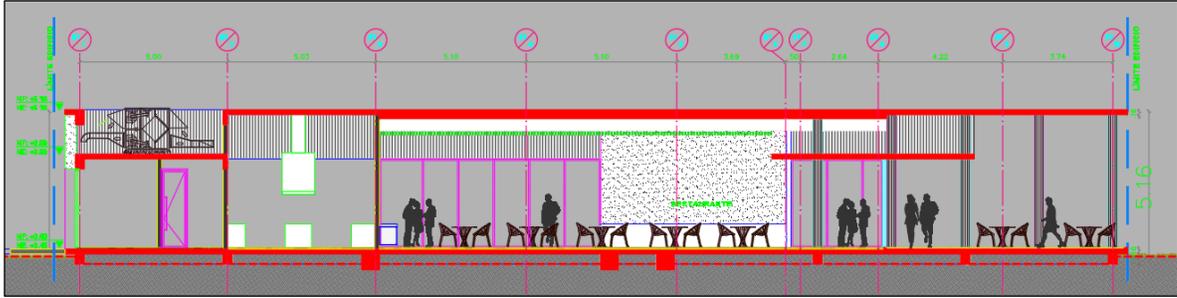


Figura 5-9 Corte longitudinal de la torre 2 de la Federación Colombiana De Futbol - Barranquilla

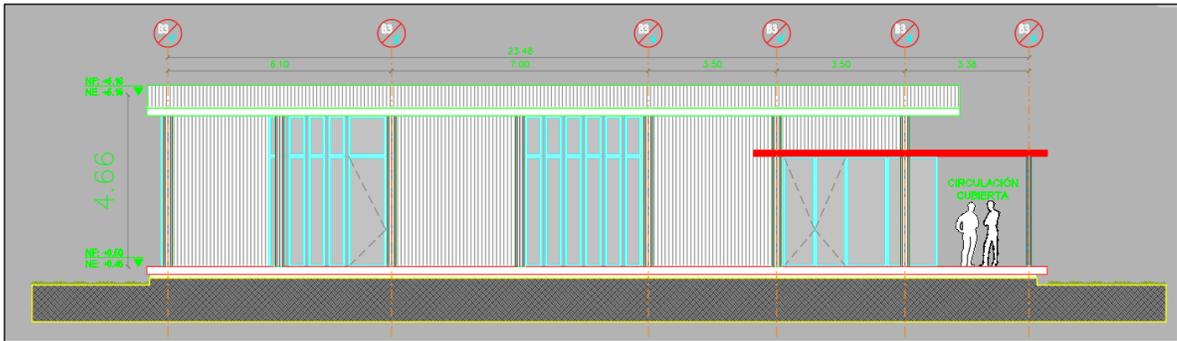


Figura 5-10 Corte longitudinal de la torre 3 de la Federación Colombiana De Futbol -Barranquilla



Figura 5-11 Corte longitudinal de la torre 4 de la Federación Colombiana De Futbol -Barranquilla

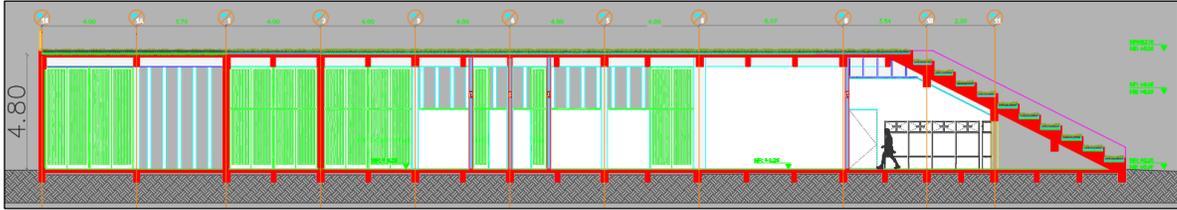


Figura 5-12 Corte longitudinal de la torre 5 de la Federación Colombiana De Futbol -Barranquilla

5.2.2 Parámetros de entrada

| VARIABLES INICIALES | | | |
|-------------------------------------------|----|---------------------------------------------|---------|
| ITEM | | UNIDAD | |
| SMMLV | \$ | | 828,116 |
| Ubicación | | Barranquilla | |
| Estrato o sector | | COMERCIAL | |
| Tipo de uso de la edificación | | _1.Reunion | |
| Uso exacto de edificación | | Estadios, parque de atracciones, aire libre | |
| Área cubierta (m ²) | | 87433 | |
| Altura a cubierta (m) | | 5.5 | |
| Costo bimensual de agua del proyecto | \$ | | - |
| Población | | 160 | |
| ¿Proyecto nuevo o existente? | | Nuevo | |
| En caso de ser proyecto industrial | | | |
| Caudal industrial (l/s) | | 0 | |
| En caso de ser proyecto agrícola | | | |
| Caudal de riego (l/s) | | 1.04 | |

Figura 5-13 Variables iniciales ingresadas al modelo para realizar el análisis de la Federación Colombiana De Futbol –Barranquilla

5.2.3 Resultados

| RESULTADOS | | |
|----------------------------------------------------|--------------------|--------------------------------|
| ITEM | UNIDAD | CANTIDAD |
| Caudal agua potable para usos no potables | M3/mes | 2760.27264 |
| Volumen estimado de agua lluvia en tanque | m3 | 2760 |
| <i>Días con agua de reserva para re uso</i> | <i>Día</i> | <i>29</i> |
| Costo de agua para usos no potables | \$ | \$ 9,556,450 |
| Costo de agua anual para usos no potables | \$ | \$ 114,677,404 |
| <i>Valor inversión inicial</i> | <i>\$</i> | <i>\$ 6,226,226,278</i> |
| <i>Nuevo costo promedio bimestral</i> | <i>\$</i> | <i>-\$ 19,112,901</i> |
| <i>Tiempo para recuperar la inversión</i> | <i>Años</i> | <i>Mas de 30</i> |

Figura 5-14 Resultados del modelo aplicado para la Federación Colombiana De Futbol -Barranquilla

5.2.4 Reevaluación con parámetros ajustados

| RESULTADOS | | |
|----------------------------------------------------|--------------------|------------------------------|
| ITEM | UNIDAD | CANTIDAD |
| Caudal agua potable para usos no potables | M3/mes | 2760.27264 |
| Volumen estimado de agua lluvia en tanque | m3 | 270 |
| <i>Días con agua de reserva para re uso</i> | <i>Día</i> | <i>2</i> |
| Costo de agua para usos no potables | \$ | \$ 9,556,450 |
| Costo de agua anual para usos no potables | \$ | \$ 114,677,404 |
| <i>Valor inversión inicial</i> | <i>\$</i> | <i>\$ 326,484,225</i> |
| <i>Nuevo costo promedio bimestral</i> | <i>\$</i> | <i>-\$ 19,112,901</i> |
| <i>Tiempo para recuperar la inversión</i> | <i>Años</i> | <i>4</i> |

Figura 5-15 Resultados de la reevaluación del modelo aplicado para la Federación Colombiana De Futbol -Barranquilla

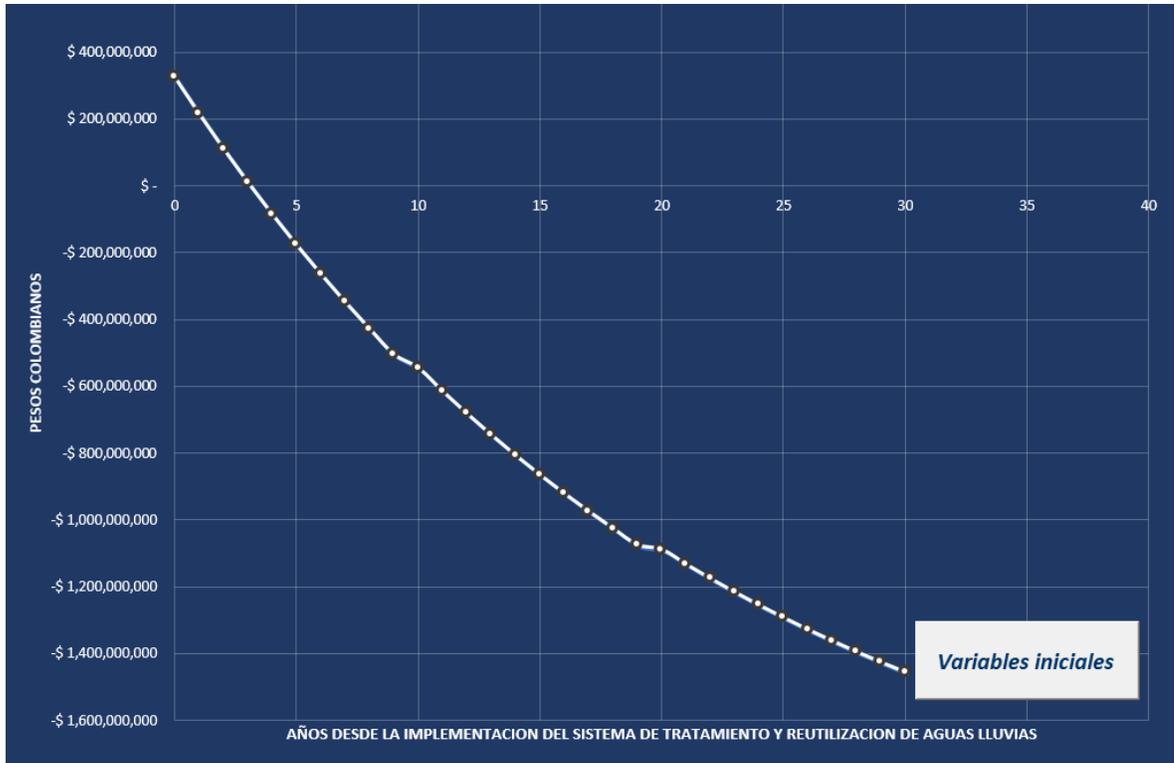


Figura 5-16 Gráfica de inversión para la reevaluación de la Federación Colombiana De Fútbol -Barranquilla

5.3 PROYECTO NUEVO (PARQUE DE BOLIVAR-CARTAGENA)

5.3.1 Descripción

Parques de Bolívar Cartagena 3 es un conjunto cerrado, que contempla la construcción de 576 casas entre 44 y 58m² de 2 pisos cada una. Contará con estacionamientos comunales, para residentes y visitantes



Figura 5-17 Imagen aérea del Conjunto Residencial Parque De Bolívar-Cartagena



Figura 5-18 Futuro desarrollo del Conjunto Residencial Parque De Bolívar-Cartagena

5.3.2 Parámetros de entrada

| VARIABLES INICIALES | | | |
|-------------------------------------------|----|----------------------|---------|
| ITEM | | UNIDAD | |
| SMMLV | \$ | | 828,611 |
| Ubicación | | Cartagena | |
| Estrato o sector | | Estrato2 | |
| Tipo de uso de la edificación | | _7.Residencial | |
| Uso exacto de edificación | | Casas y Apartamentos | |
| Área cubierta (m²) | | 37000 | |
| Altura a cubierta (m) | | 4.4 | |
| Costo bimestral de agua del proyecto | | | |
| Población | | 1728 | |
| ¿Proyecto nuevo o existente? | | Nuevo | |
| En caso de ser proyecto industrial | | | |
| Caudal industrial (l/s) | | 0 | |
| En caso de ser proyecto agrícola | | | |
| Caudal de riego (l/s) | | 0 | |

Figura 5-19 Variables iniciales ingresadas al modelo para realizar el análisis del Conjunto Residencial Parque De Bolívar-Cartagena

5.3.3 Resultados

| RESULTADOS | | | |
|---------------------------------------------|-------------|------------------|--------------------|
| ITEM | UNIDAD | CANTIDAD | |
| Caudal agua potable para usos no potables | M3/mes | 1254.11328 | |
| Volumen estimado de agua lluvia en tanque | m3 | 1254 | |
| Días con agua de reserva para re uso | Día | 29 | |
| Costo de agua para usos no potables | \$ | \$ | 1,376,377 |
| Costo de agua anual para usos no potables | \$ | \$ | 16,516,521 |
| Valor inversión inicial | \$ | \$ | 654,632,166 |
| Nuevo costo promedio bimestral | \$ | -\$ | 2,752,754 |
| Tiempo para recuperar la inversión | Años | Mas de 30 | |

Figura 5-20 Resultados del modelo aplicado para el Conjunto Residencial Parque De Bolívar-Cartagena

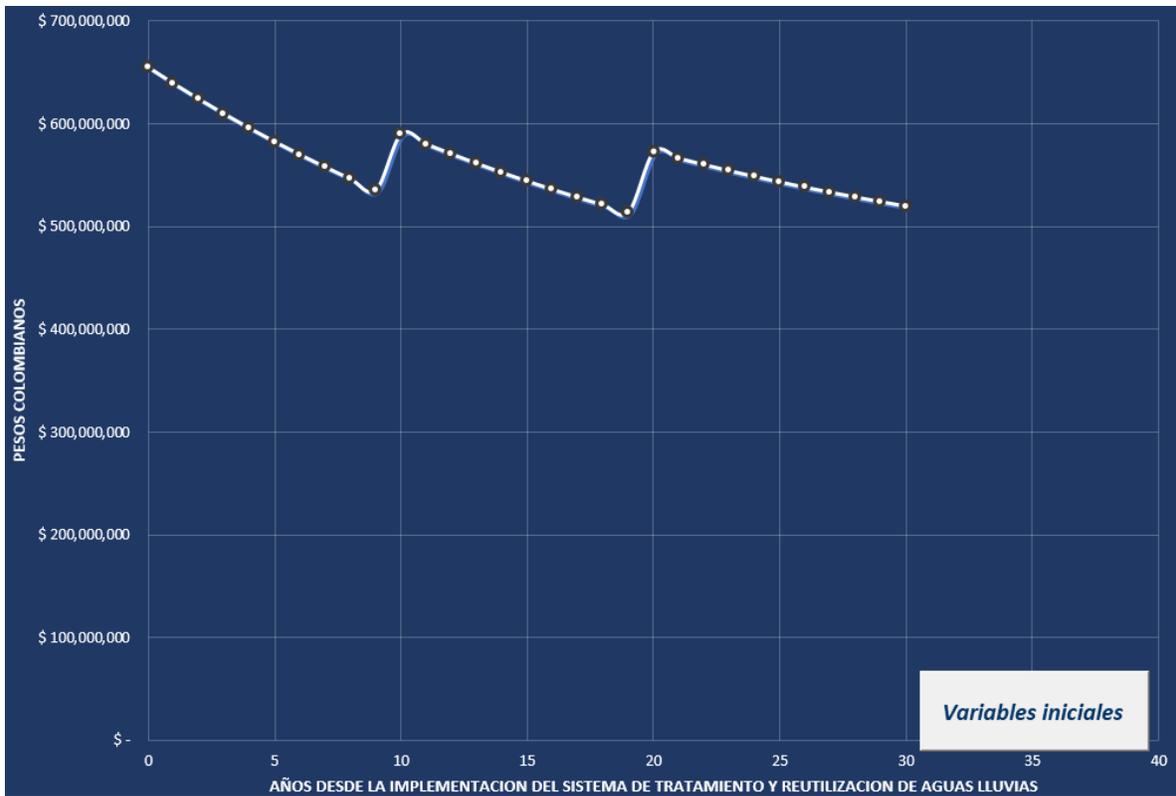


Figura 5-21 Gráfica de inversión para el Conjunto Residencial Parque De Bolívar- Cartagena

5.3.4 Reevaluación con parámetros ajustados

5.3.4.1 Parámetros de entrada

| VARIABLES INICIALES | | |
|-------------------------------------------|----|----------------------|
| ITEM | | UNIDAD |
| SMMLV | \$ | 828,611 |
| Ubicación | | Cartagena |
| Estrato o sector | | Estrato2 |
| Tipo de uso de la edificación | | _7.Residencial |
| Uso exacto de edificación | | Casas y Apartamentos |
| Área cubierta (m ²) | | 3800 |
| Altura a cubierta (m) | | 4.4 |
| Costo bimestral de agua del proyecto | | |
| Población | | 1728 |
| ¿Proyecto nuevo o existente? | | Nuevo |
| En caso de ser proyecto industrial | | |
| Caudal industrial (l/s) | | 0 |
| En caso de ser proyecto agrícola | | |
| Caudal de riego (l/s) | | 0 |

Figura 5-22 Variables iniciales ingresadas al modelo para realizar la reevaluación del Conjunto Residencial Parque De Bolívar-Cartagena.

5.3.4.2 Resultados

| RESULTADOS | | |
|---------------------------------------------|-------------|-----------------------|
| ITEM | UNIDAD | CANTIDAD |
| Caudal agua potable para usos no potables | M3/mes | 1254.11328 |
| Volumen estimado de agua lluvia en tanque | m3 | 1232 |
| Días con agua de reserva para re uso | Día | 29 |
| Costo de agua para usos no potables | \$ | \$ 1,376,377 |
| Costo de agua anual para usos no potables | \$ | \$ 16,516,521 |
| Valor inversión inicial | \$ | \$ 108,561,482 |
| Nuevo costo promedio bimestral | \$ | -\$ 2,752,754 |
| Tiempo para recuperar la inversión | Años | 9 |

Figura 5-23 Resultados del modelo aplicado para la reevaluación para el Conjunto Residencial Parque De Bolívar-Cartagena

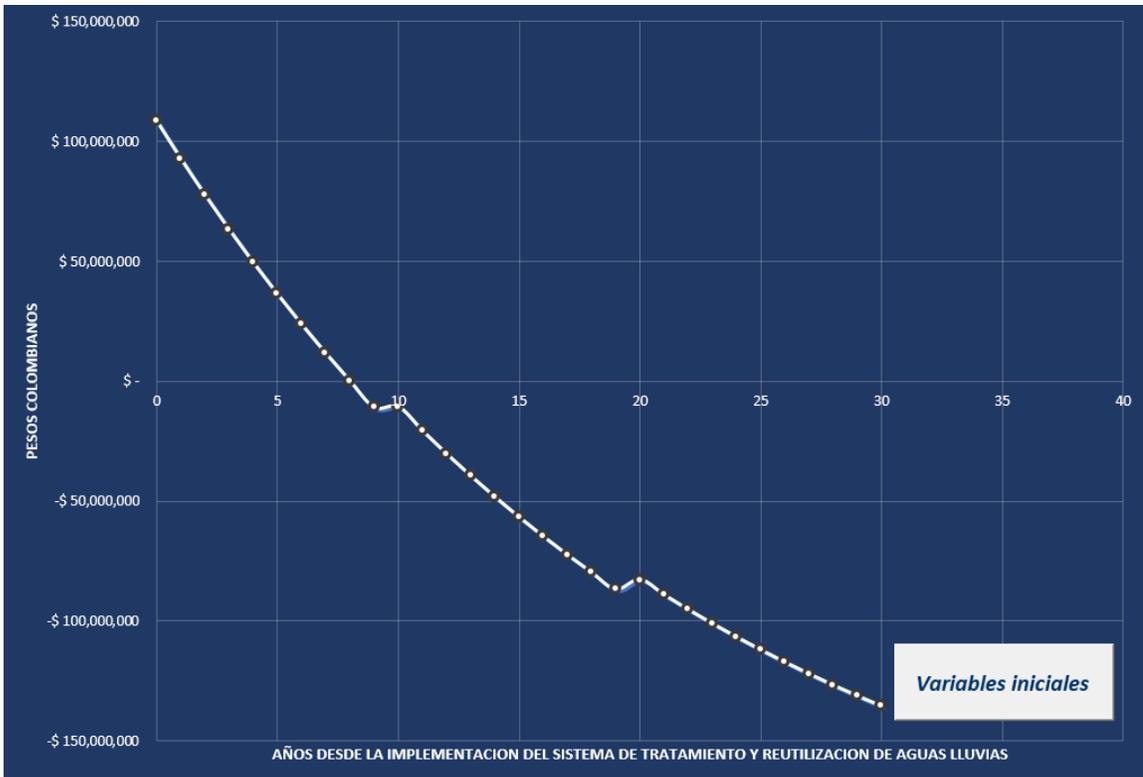


Figura 5-24 Gráfica de inversión para el Conjunto Residencial Parque De Bolívar- Cartagena

6 ANÁLISIS DE RESULTADOS

6.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS PROYECTO EXISTENTE 1 (EDIFICIO OFICINAS AMARILO-BOGOTÁ)

Los resultados son congruentes a lo esperado, ya que el proyecto actualmente cuenta con sistema de reutilización de aguas lluvias. Recuperando la inversión inicial en 6 años, por medio de un ahorro bimestral de \$1'384.000.

6.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS PROYECTO EXISTENTE 2 (SEDE FEDERACION COLOMBIANADE FUTBOL -BARRANQUILLA)

Dada la gran cantidad de área útil para recolección de aguas lluvias, y el alto consumo que tienen las canchas para riego se genera la necesidad de que el volumen de almacenamiento para garantizar los 30 días de reserva sea muy grande. Lo cual sube excesivamente los costos del sistema de recolección, tratamiento y distribución. Generando que sea inviable económicamente.

Posterior a esto se evaluó el modelo con las condiciones existentes, con un tanque de 270 m³, con capacidad de reserva para dos días de uso, con lo cual se genera la viabilidad del proyecto, con un tiempo de retorno de inversión de tan solo 4 años, con un ahorro bimestral de \$19'112.901

6.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS PROYECTO NUEVO (PARQUES DE BOLIVAR-CARTAGENA)

Para el proyecto Parques De Bolívar-Cartagena, sucede un fenómeno similar al presentado en la modelación inicial de la sede de la Federación Colombiana de Futbol –Barranquilla. En donde dada la gran área aportante de aguas lluvias, los caudales que se llevan al sistema de tratamiento, hacen que los costos iniciales del proyecto sean elevados y por lo tanto el proyecto pierda su viabilidad.

Gracias a la lección aprendida en la modelación de la Sede Federación Colombiana de Fútbol –Barranquilla, se redujo el área aportante, para que sea solo la necesaria para satisfacer la demanda por 30 días. Reduciendo así los caudales de tratamiento, el volumen de almacenamiento y reduciendo los costos en un 83%, teniendo con esto un retorno de inversión en 9 años. Y un ahorro previsto bimestral de \$2'752.754.

7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Como principal conclusión, se tiene que el sistema de aprovechamiento de aguas lluvias es altamente eficiente y viable para diferentes proyectos tanto para edificaciones residenciales, institucionales, comerciales. Es llamativo comercialmente, ofreciéndolo como un ahorro en las tarifas de agua potable. Y ayuda a los sistemas de alcantarillado a reducir los picos de lluvia que en ocasiones superan las capacidades de diseño de las tuberías. Además, se tiene el beneficio ambiental dada la reutilización de aguas tratadas para usos que no requieren agua potable.

Se evidencia que para estratos altos la reutilización de aguas lluvias, es más beneficiosa, ya que las tarifas de acueducto son más altas por los subsidios dados.

También cabe destacar que se debe analizar el requerimiento real de agua tratada de los proyectos, ya que, en proyectos de grandes áreas, puede suceder que el caudal producido sea mayor que el requerido, lo cual puede generar sobredimensionamientos en los sistemas de tratamiento y almacenamiento, y la posibilidad de inviabilidad del sistema.

Se puede observar de igual manera que la viabilidad de los proyectos varía de forma significativa con respecto al uso de la edificación, y aunque puedan tener características físicas parecidas (proyectos similares) es concluyente que el uso de la edificación es un factor fundamental para calcular los caudales de demanda y los costos por consumo de agua del proyecto.

Como se estableció en el documento, las intensidades de precipitación varían fuertemente dependiendo de la ubicación del proyecto. Adicional a esto, también al tener en cuenta los días de precipitación mensual de las ciudades estudiadas, se puede llegar a la conclusión de que es una variable importante para determinar los volúmenes del tanque y los días de aprovechamiento del agua lluvia. Ya bien se puede observar que, si en algunas ciudades la intensidad es menor, pero el número de días de lluviosos es más alto, podemos hacer un tanque más pequeño, que no deba acumular por completo toda el agua lluvia. Al contrario, pasa con un proyecto ubicado en una

ciudad donde la intensidad es muy alta, pero los días de lluvias son muy pocos. Es ahí donde el volumen del tanque debe ser muy alto para aprovechar toda el agua lluvia y no tener déficit en la demanda. Entonces bien si el tanque influye en los costos de construcción para la reutilización de aguas lluvias, se puede afirmar que las intensidades de la precipitación y el número de días de lluvias influyen de manera directa en la viabilidad del sistema de reutilización de aguas lluvias.

Aunque el modelo de factibilidad está programado para arrojar un resultado exacto, la confiabilidad del modelo depende solamente del usuario, pues es quien debe ingresar los parámetros de entrada y dependiendo de estos se puede dar un resultado más confiable. Es por esto que se recomienda que los parámetros de entrada al modelo sean lo más verídicos posibles y con esto no tendrá alguna duda de que los resultados serán lo más aproximados a la realidad.

Por último, Este modelo de factibilidad da como resultado valores aproximados e indicadores de factibilidad, pero se recomienda tener en cuenta otros factores para poder tomar la decisión de implementar un sistema de reutilización de aguas lluvias. Este modelo puede plantearse como una gran base para la toma de esta decisión, pero se recuerda que al implementar este tipo de sistemas no solo puede beneficiar al usuario de manera económica, sino que también beneficia a todo un sistema hidrológico, que es una de los principales objetivos.

8 BIBLIOGRAFÍA

Aparicio, F. J. (1992). *Fundamentos de Hidrologia de Superficie*. Mexico: Limusa S.A.

Consejo de la construcción Ecologica de los Estados Unidos. (2009). Guia de estudio de LEED AP Operaciones y mantenimiento del USGBC. 53.

DANE. (12 de Mayo de 2011). *SERIES DE POBLACION 1985 - 2020*. Obtenido de Colombia. Estimaciones 1985-2005 y proyecciones 2005-2020 nacional y departamental desagregadas por sexo, área y grupos quinquenales de edad: <http://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/series-de-poblacion>

DANE. (ENERO de 2019). *DANE INFORMACION PARA TODOS*. Obtenido de <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/precios-y-costos/indice-de-precios-al-consumidor-ipc/ipc-informacion-tecnica#indices-y-ponderaciones>

DURAN, J. S. (2016). *ESTADO DEL ARTE DE LOS SISTEMAS DE CAPTACION Y APROVECHAMIENTO DE AGUA LLUVIAS COMO ALTERNATIVA EN EL AHORRO DE AGUA POTABLE EN VIVIENDAS*. Bogotá D.C.

E.S.P. EMCALI, E. M. (s.f.). Obtenido de <https://www.emcali.com.co/web/acueducto/tarifas>

Empresa de acueducto y alcantarillado de Bogotá. (31 de Enero de 2019). Obtenido de Empresa de acueducto, alcantarillado y aseo de Bogotá: <https://www.acueducto.com.co>

ESGBC, U. G. (6 de July de 2012). *Water use reduction additional guidance*. Obtenido de <https://www.usgbc.org/resources/water-use-reduction-additional-guidance>

Google. (18 de 11 de 22). *Google*. Obtenido de https://www.google.com.co/publicdata/explore?ds=d5bncppjof8f9_&met_y=sp_pop_totl&hl=es&dl=es

ICONTEC. (23 de AGOSTO de 2017). *NTC 1500 - COMITE DE INSTALACIONES HIDRAULICAS CODIGO COLOMBIANO DE INSTALACIONES HIDRAULICAS Y SANITARIAS TERCERA ACTUALIZACION*. Obtenido de <http://www.aprocof.co/descargas/icontec/PRESENTACION%20ICONTEC%20NTC-1500%202.pdf>

IDEAM. (2011). *Mapas de Numero de dias con lluvia promedio en Colombia*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/seguimiento>

IDEAM. (s.f.). *METEOROLOGIA AERONAUTICA*. Obtenido de <http://bart.ideam.gov.co/cliciu/precipi.htm>

LEED Reference Guide for Green Building Operations. (2009).

Mark W. Rosegrant, X. C. (2002). *GLOBAL WATER OUTLOOK TO 2025 - Averting an Impending Crisis*. Obtenido de <http://ebrary.ifpri.org/utils/getfile/collection/p15738coll2/id/59063/filename/59064.pdf>

Mete, L. M. (Marzo de 2014). *VALOR ACTUAL NETO Y TASA DE RETORNO: SU UTILIDAD COMO HERRAMIENTAS PARA EL ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE PROYECTOS DE INVERSION*. Obtenido de http://www.scielo.org/bo/pdf/rfer/v7n7/v7n7_a06.pdf

MinTIC, M. d. (Abril de 2019). *Tarifas para servicios de acueducto y aguas residuales - EPM*. Obtenido de <https://www.datos.gov.co/widgets/nfrm-mmfe>

MUNDIAL, B. (Enero de 2017). *Repunte del 2,7 % en el crecimiento mundial pese a la escasez de inversión*. Obtenido de <http://www.bancomundial.org/es/news/press-release/2017/01/10/global-growth-edges-up-to-2-7-percent-despite-weak-investment>

Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America PNAS. (28 de Febrero de 2012). *The water footprint of humanity*. Obtenido de <https://www.pnas.org/content/109/9/3232.full>

Statoids, A. D. (30 de Junio de 2015). *Departments of Colombia*. Obtenido de <http://www.statoids.com/uco.html>

Triple A S.A. E.S.P. (31 de Enero de 2019). *Triple A*. Obtenido de <http://www.aaa.com.co/>