

## SISTEMAS DE APROVECHAMIENTO DE AGUA LLUVIA PARA VIVIENDA URBANA

José Alejandro Ballén Suárez<sup>1</sup>, Miguel Ángel Galarza García<sup>2</sup>, Rafael Orlando Ortiz Mosquera<sup>3</sup>

**Resumen:** Se estudiaron los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia, como una propuesta para el abastecimiento parcial de agua en las viviendas ubicadas en zonas urbanas. Esto se realizó como una respuesta a la reducción de la oferta hídrica en los municipios de Colombia, debido a la contaminación de las aguas superficiales y el proceso de degradación que sufren las cuencas. El IDEAM<sup>4</sup> afirma, que si estos procesos no se modifican para el año 2015, en condiciones hidrológicas secas el 60% de la población colombiana podría estar en alto riesgo de desabastecimiento de agua, y que para el año 2025 el valor alcanzaría el 66%. Buscando reducir el efecto de esta problemática en los municipios de nuestro País, se implementó una Metodología para el prediseño de los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia, la cual esta encaminada a darle el uso más adecuado al agua lluvia dentro de las unidades residenciales. El prediseño del sistema es un proceso iterativo, donde al final de cada etapa se evalúan los parámetros para lograr que el producto último sea económico y funcional; pero si la implementación del sistema es totalmente inconveniente por sus altos costos y/o bajo nivel de funcionalidad la aplicación de la metodología evidenciará este hecho sugiriendo la no realización de este proyecto. La metodología para el diseño del sistema involucra dos etapas: Factibilidad Técnica y Factibilidad Financiera. De la aplicación de la metodología se logro concluir que actualmente los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia son factibles, en lugares con deficiencias en el suministro, baja calidad del agua o costos elevados. Estos sistemas son más eficientes cuando se combinan con otras fuentes de abastecimiento.

**Summary:** There were studied the systems of water rain use, like a proposal for the partial supply of water in the housings located in urban areas. This was carried out like an answer to the hydric offer reduction in the municipalities of Colombia, due to the superficial waters contamination and the degradation process that suffer the basins. IDEAM affirms that if these processes aren't modified for the year 2015, the 60% of colombian population's will be under dry hydrological conditions and in supply of water's risk could be high, and for the year 2025 the value would reach to 66%. Looking for to reduce the effect of this problem in the municipalities of our Country, a methodology was implemented for the systems pre-design of the of water rain use, guided to give the most appropriate use to the water rain inside the residential units. The pre-design system is a iterative process, where at the end of each stage the parameters are evaluated to ensure that the last result is economic and functional; but if the implementation of the system is completely inconvenient for its high costs and/or low level of functionality, the application of the methodology will evidence this fact suggesting the non realization of this project. The methodology for the system design involves two stages: Technical feasibility and Financial Feasibility. With the application of the methodology, was possible to conclude that at the moment, the systems of water

---

<sup>1</sup> Universidad Nacional de Colombia - Ingeniero Civil – Departamento de Ingeniería civil y Agrícola –Unidad de Hidráulica –Bogota, Colombia. E-mail: [jaballens@unal.edu.co](mailto:jaballens@unal.edu.co)

<sup>2</sup> Universidad Nacional de Colombia - Ingeniero Civil – Departamento de Ingeniería civil y Agrícola –Unidad de Hidráulica –Bogota, Colombia. E-mail: [magalarzag@unal.edu.co](mailto:magalarzag@unal.edu.co)

<sup>3</sup> Universidad Nacional de Colombia - Ingeniero Civil – Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola –Unidad de Hidráulica – M. Sc. En Docencia – Candidato a M. Sc. en Recursos Hidráulicos – Director de la Unidad de Hidráulica - Integrante GIREH ( Grupo de investigación de Recursos Hídricos) - Bogota, Colombia. Tel: (+57) 1 3165000 Ext. 13474 – Fax: (+57) 1 3165563 E-mail: [roortizm@unal.edu.co](mailto:roortizm@unal.edu.co)

<sup>4</sup> INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES. “Estudio Nacional del Agua”. Bogotá, D.C., 2000.

rain use are feasible, in places with deficiencies in the supply, low water quality or high costs. These systems are more efficient when they combine with other sources of supply.

**Palabras claves:** Agua Lluvia, Uso Eficiente del Agua

## **INTRODUCCIÓN**

Se estudiaron los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia, como una propuesta para el abastecimiento parcial de agua en las viviendas ubicadas en zonas urbanas. Esto se realizó como una respuesta a la reducción de la oferta hídrica en los municipios de Colombia, debido a la contaminación de las aguas superficiales y el proceso de degradación que sufren las cuencas. El IDEAM afirma, que si estos procesos no se modifican para el año 2015, en condiciones hidrológicas secas el 60% de la población colombiana podría estar en alto riesgo de desabastecimiento de agua, y que para el año 2025 el valor alcanzaría el 66%.

Como resultado del estudio, se presenta una propuesta metodológica para el prediseño de un sistema de aprovechamiento de agua lluvia para edificaciones de vivienda urbana.

### **1. MARCO CONCEPTUAL**

Estos sistemas básicamente aprovechan el agua lluvia que cae precipitada sobre la cubierta, siendo conducida por canales o tuberías hacia un tanque de almacenamiento, para luego ser utilizada en uno o varios usos dentro de las edificaciones, si esta finalidad así lo requiere se tienen procesos para el mejoramiento de la calidad del agua, la mayoría de estos tratamientos se realizan antes de almacenarla.

Existen diferentes configuraciones de sistemas de aprovechamiento de agua lluvia de cubierta los cuales pueden ser sencillos y económicos o muy complejos y costosos. En los sistemas sencillos, el agua es llevada a los puntos bajos de la casa para ser almacenada o aprovechada directamente, mientras los sistemas más complejos están diseñados para captar, tratar, almacenar y distribuir el agua para ser aprovechada en la mayoría de las necesidades de los habitantes de la edificación, para ello el sistema cuenta con un interceptor de las primeras aguas que elimina el agua del lavado de la cubierta, filtros y procesos de desinfección también para mejorar la calidad del agua, hidroneumáticos y sistemas de bombeo que distribuyen el agua a los diferentes puntos hidráulicos, y dispositivos de control como: sensores de flujo, de nivel y de presión.

## **PROPUESTA METODOLÓGICA Y RESULTADOS**

En la construcción de la metodología de prediseño de sistemas de aprovechamiento de agua lluvia, se ha tenido en cuenta dos aspectos fundamentales: la Factibilidad Técnica y la Factibilidad Financiera. El diseño del sistema es un proceso iterativo, donde al final de cada etapa se evalúan los parámetros para lograr que el producto último sea funcional y económico; pero si la implementación del sistema es totalmente inconveniente por sus altos costos y/o bajo nivel de funcionalidad la aplicación de la metodología evidenciará este hecho sugiriendo la no realización del proyecto.

Para la aplicación de metodología es necesario que se disponga de una fuente de agua potable que abastezca el consumo humano, el sistema de agua lluvia cubrirá una parte de la demanda de agua pero no el consumo.

## 1 FACTIBILIDAD TÉCNICA

La precipitación en la zona donde esta ubicada la edificación y el área de la cubierta, son los factores de mayor influencia en la cantidad de agua que puede aportar el sistema a las viviendas, en consecuencia una primera aproximación a la manera como se utilizará el agua lluvia en las viviendas, se hace calculando el volumen de agua lluvia que puede captar la cubierta (oferta) y compararlo con la necesidades de agua de los habitantes de la edificación (demanda).

### 1.1 Oferta

$$O_{PD} = \frac{P_A * A_c}{N * 365}$$

Ecuación (1)

Donde:

$O_{pd}$ (m <sup>3</sup> /hab/día)	:	Oferta promedio diario de agua lluvia
$P_A$ (m <sup>3</sup> )	:	Precipitación media multianual
$A_c$ (m <sup>2</sup> )	:	Área de captación
$N$ (-)	:	Número de habitantes

### 1.2 Demanda

En la determinación de la demanda de agua, se debe tener en cuenta la Dotación Neta diaria, la cual se estima en base a los consumos históricos en el municipio. Si no se cuenta con esta información se utiliza el método presentado en el numeral A.11.1 del Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico<sup>5</sup> -RAS 2000-.

Conociendo la dotación neta, se obtiene la cantidad de agua utilizada para cada uno de los usos en las viviendas, multiplicando la Dotación Neta por los porcentajes presentados en la Tabla 1.

Tabla N° 1. Porcentaje de participación de los usos del agua en el consumo total en las viviendas

Uso	Porcentaje
Lavado de Ropa	27.1%
Sanitario	19.9%
Ducha	20.9%
Lavado de Platos	15.5%
Aseo de Vivienda	4.9%
Consumo Propio	3.9%
Lavado de Manos	3.7%
Lavado de Auto	1.5%
Riego de Jardines	1.9%
Riego de Plantas	0.6%

Fuente: Realizado por los autores con base en la información del Estudio<sup>6</sup> “Determinación de Consumos Básicos de Agua Potable”

<sup>5</sup> MINISTERIO DE DESARROLLO ECONOMICO, “Reglamento técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico -RAS 2000-”, Dirección General de Agua Potable y Saneamiento Básico. Bogotá D.C, Noviembre de 2000.

<sup>6</sup> DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN, “Determinación de Consumos Básicos de Agua Potable”, Colombia, 1991.

La demanda individual de agua lluvia ( $D_I$ ) se obtiene como la suma de las cantidades correspondientes a los usos que puede cubrir el agua lluvia; pero no debe superar la Oferta Promedio Diaria de agua lluvia ( $D_{PD}$ ) obtenida por la Ecuación 2. La demanda total de agua lluvia diaria ( $D_t$ ) se calcula como el producto de la demanda individual y el número de habitantes de la edificación.

$$D_t = D_I * N$$

Ecuación (2)

Donde:

$D_t$  ( $m^3$ ) : Demanda total de agua lluvia en un día

$D_I$  ( $m^3$ ) : Demanda Individual de agua lluvia

N (-) : Número de habitantes

Es conveniente cubrir primero los usos que no requieren agua potable para su desarrollo (Sanitario, Lavado de Ropa, Aseo de Vivienda, Lavado de Auto, y Riego de Jardines y Plantas), esto con el fin de bajar los costos por la instalación de sistemas de filtración y desinfección.

### 1.3 Evaluación

Si la Oferta Promedio diario de agua lluvia ( $O_{PD}$ ) no supera el 30%, del valor de la Dotación Neta el proyecto para suministro de agua lluvia no es factible. En este caso se puede realizar una aplicación simple donde el agua lluvia se utilice para el lavado de autos, el riego de jardines o plantas, el cual no necesita de tratamiento, bombeo ni red de suministro. En el caso que la Oferta Promedio diario de agua lluvia supere el 30% de la Dotación Neta se continua con el prediseño.

### 1.4 Dimensionamiento del Sistema

La etapa de Dimensionamiento del sistema consta de dos pasos, el primero es encontrar un volumen óptimo de almacenamiento que cubra el mayor tiempo posible las necesidades a las cuales se ha destinado el agua lluvia. El segundo paso es determinar el tipo de instalación hidráulica que se va a utilizar y los aditamentos necesarios para dar al agua lluvia unas características de suministro y calidad, adecuados al uso que se le dará dentro de la unidades residenciales.

- Volumen Máximo de Almacenamiento

Las variables involucradas en el cálculo del volumen máximo de almacenamiento son las siguientes:

$P_t$ (mm)	:	Precipitación diaria
$A_c$ ( $m^2$ )	:	Área de Captación
N (-)	:	Número de habitantes de la edificación
t (días)	:	Tiempo
T (días)	:	Periodo Total de Modelación
$D_t$ ( $m^3$ )	:	Demanda Total de Agua Lluvia en un día
$R_t$ ( $m^3$ )	:	Volumen de agua lluvia
$S_t$ ( $m^3$ )	:	Volumen de agua en el almacenamiento

$S_{\max}$ ( $m^3$ )	:	Volumen máximo de almacenamiento
$W_t$ ( $m^3$ )	:	Volumen de pérdidas por excedencia
$O_t$ ( $m^3$ )	:	Volumen de salida desde el almacenamiento
$M_t$ ( $m^3$ )	:	Volumen de demandas no satisfechas
$I_t$ ( $m^3$ )	:	Volumen de entrada acumulado

La determinación del volumen óptimo del almacenamiento se hace con base en el Modelo de Almacenamiento de Agua Lluvia de Dixon<sup>7</sup>. El modelo calcula el volumen de agua en el almacenamiento ( $S_t$ ) para un intervalo de tiempo determinado a partir del volumen máximo del almacenamiento ( $S_{\max}$ ), la demanda ( $D_t$ ) y el volumen de agua lluvia ( $R_t$ ) que ingresa al almacenamiento proveniente del escurrimiento de la cubierta, la unidad de tiempo propuesta en esta metodología es el día. La relación entre las variables involucradas en el modelo se presenta en la *Figura N° 1*.

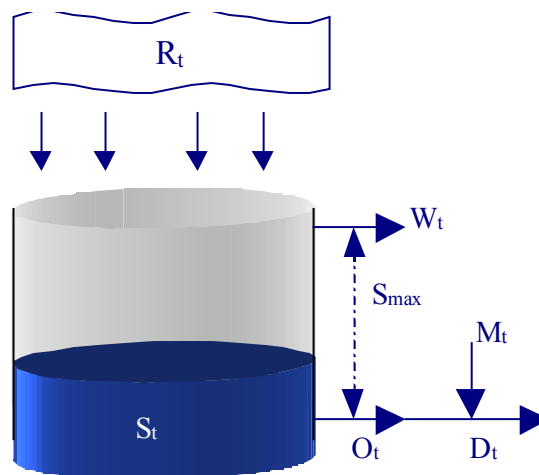


Figura N° 1. Modelo de Almacenamiento de Agua Lluvia<sup>7</sup>

El Modelo propuesto por Dixon no determina directamente el volumen óptimo del almacenamiento, lo que se plantea es aplicar el modelo para un amplio rango de volúmenes máximos de almacenamiento ( $S_{\max}$ ), obteniendo un indicador de eficiencia llamado WSE (Water Saving Efficiency) que se calcula por medio de la Ecuación 8, la cual relaciona el volumen de agua de la Demanda no Satisfecha ( $M_t$ ) con la Demanda Total ( $D_t$ ). A partir de la relación entre  $S_{\max}$  y WSE, se puede determinar el volumen máximo de almacenamiento adecuado para las necesidades de los habitantes de la edificación.

Los pasos para la determinación del volumen óptimo utilizando el modelo de Dixon están consignados en la *Tabla N° 2*.

<sup>7</sup> DIXON, A., VILLAREAL E, "Analysis of a Rainwater Recycling System For Domestic Water Supply in Ringdansen, Norrköping", Lund University. Sweden, 2000.

**Tabla N° 2.** Pasos para la determinación del volumen óptimo de almacenamiento.

<p>► <b>Paso 1</b> Determinar el volumen (I) de agua lluvia que se recolecta en el área de la cubierta (A).</p> $I_1 = (P_1 - 1) * A_c \quad \text{Ecuación (3)}$ <p>En la Ecuación 3 se le resta 1 mm al valor de la precipitación diaria (P), este volumen de agua lluvia se emplea en el lavado de la cubierta y no se contabiliza para la oferta. <i>Sí <math>P_1 &lt; 1</math> entonces <math>I_1 = 0</math></i></p>	
<p>► <b>Paso 2</b> Se supone un volumen máximo de almacenamiento (<math>S_{m\acute{a}x}</math>)<sup>8</sup> y se compara con la suma de los volúmenes inicial (<math>S_0</math>) y de entrada (I).</p> $S_0 + I_1 > S_{m\acute{a}x}$ <p>Sí es falso, no hay pérdidas por excedencia. <math>W_1 = 0</math></p> <p>Sí es verdadero, se calculan las pérdidas por excedencia (W) como: <math>W_1 = S_0 + I_1 - S_{m\acute{a}x} \quad \text{Ecuación (4)}</math></p>	
<p>► <b>Paso 3</b> Se compara el volumen de agua en el almacenamiento con la demanda total<sup>9</sup>.</p> $S_0 + I_1 - W_1 < D$ <p>Sí es falso, entonces: El volumen de salida es igual a la demanda total. <math>O_1 = D</math> No hay demandas no satisfechas <math>M_1 = 0</math></p> <p>Sí es verdadero, entonces: El volumen de salida es igual volumen en el almacenamiento <math>O_1 = S_0 + I_1 - W_1 \quad \text{Ecuación (5)}</math> Las Demandas No Satisfechas (M) se calculan: <math>M_1 = D_t - O_1 \quad \text{Ecuación (6)}</math></p>	
<p>► <b>Paso 4</b> Calcular el volumen inicial en el tanque para el siguiente día: <math>S_1 = S_0 + I_1 - W_1 - O_1 \quad \text{Ecuación (7)}</math></p>	
<p>► <b>Paso 5</b> Se realizan los Pasos del 1 al 4, para cada uno de los registros diarios de precipitación.</p>	

<sup>8</sup> El primer valor de Smax debe ser pequeño pero diferente de 0

<sup>9</sup> Se considera que la Demanda Total (D) no varía en el tiempo.

► **Paso 6**

Obteniendo los valores acumulados de Demanda Total Diaria ( $D_t$ ) y Demandas No Satisfechas ( $W_t$ ), para el periodo de estudio, se calcula el valor de WSE (Water Saving Efficiency)<sup>10</sup>, Ecuación 8.

$$WSE = \frac{\sum_{t=1}^T D_t - \sum_{t=1}^T M_t}{\sum_{t=1}^T D_t}$$

Ecuación (8)

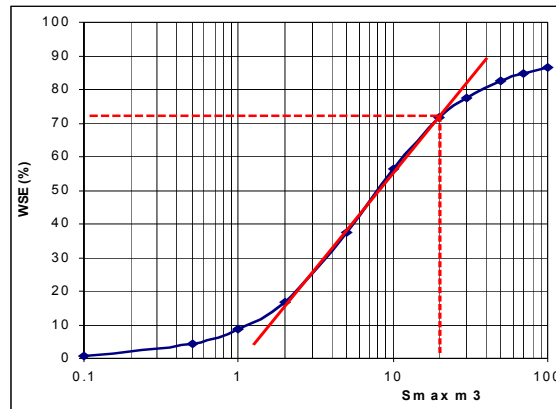
► **Paso 7**

Se realizan los pasos del 1 al 6 cambiando el valor del Volumen Máximo de Almacenamiento ( $S_{max}$ ). Se sugiere utilizar una serie de valores  $S_{max}$ , como la siguiente:

{0.1, 0.5, 1, 2, 3, 5, 10, 20, 30, 50, 100} m<sup>3</sup>

► **Paso 9**

Determinar el volumen óptimo de almacenamiento. Se ubican en una gráfica de tipo semilogarítmica los pares de datos  $S_{max}$  y WSE, tal como lo presenta la *Figura N° 2*.



**Figura N° 2.** Relación WSE vs. Smáx

Fuente: Realizada por los autores

El índice de eficiencia WSE es directamente proporcional al logaritmo natural del volumen del almacenamiento máximo, pero esto sólo se cumple en algún sector de la curva, como se muestra en la Figura 2. El volumen óptimo de almacenamiento se encuentra en el punto donde esta relación deja de ser de tipo lineal el cual debe estar por encima del WSE 50%, esto para asegurar que el sistema abastece los servicios a los cuales ha sido destinada el agua lluvia, por lo menos durante la mitad del tiempo. Sí el punto óptimo esta por debajo del WSE 50%, se debe cubrir menos usos disminuyendo el valor de la Demanda Total de agua lluvia ( $D_t$ ).

- Diseño de la Instalación

•

En esta etapa se debe dimensionar todos los componentes del sistema de aprovechamiento de agua lluvia, para luego examinar la funcionalidad del sistema.

Los elementos utilizados para la recolección del agua lluvia son **Canales y Bajantes** los cuales deben estar diseñados para conducir el caudal generado por la intensidad máxima característica de lluvia de la zona donde se desarrolla el proyecto.

<sup>10</sup> Indicador de eficiencia en el ahorro de agua



El **interceptor** se encarga de acumular la primera agua lluvia que cae sobre la cubierta, la cual realiza un lavado, en el instante en que se llene el interceptor se crea un by pass para que el agua sea conducida al tanque de almacenamiento directamente. El volumen del interceptor se calcula como 1 litro por cada metro cuadrado de cubierta, debido a que se necesita 1 mm. de lluvia para lavar un metro cuadrado<sup>11</sup>, el diseño del interceptor debe adaptarse al diámetro de la bajante.

La **red de distribución de agua lluvia** es una red paralela a la red de suministro, pero solo llega a los puntos hidráulicos donde se utilizará el agua lluvia, así que debe protegerse la red de suministro de agua potable con un cheque para evitar que el agua lluvia se mezcle con el agua potable.

Sí la ubicación del tanque de almacenamiento no proporciona la suficiente cabeza para el funcionamiento adecuado de los aparatos, es necesario dotar a la instalación de una **bomba** para impulsar el agua hacia los puntos hidráulicos. Cuando hay disponibilidad de agua lluvia y un punto hidráulico demanda agua, es necesario asegurar que el agua que se suministre sea agua lluvia, esto se logra manteniendo la red de agua lluvia a una mayor presión que la red de suministro en todos los puntos hidráulicos.

Los **dispositivos de control** mecánico como: flotadores mecánicos, válvulas de cierre, válvulas de retención y uniones universales; son indispensables para el adecuado funcionamiento y mantenimiento del sistema. Para el control del equipo de bombeo existen dispositivos como: sensores de presión, sensores de flujo, tableros de control, indicadores de nivel, etc., los cuales se hacen necesarios en la medida que se quiera automatizar y mejorar el funcionamiento del sistema de aprovechamiento de agua lluvia

## 2 FACTIBILIDAD FINANCIERA - RESULTADOS

Se realiza un análisis financiero para examinar si el proyecto es rentable o no, donde el periodo de evaluación será igual a la vida útil estimada del sistema. Para esto se realiza un flujo de fondos del proyecto, que contemple los siguientes aspectos:

### 2.1 Ingresos

Para los usuarios que cuentan con el servicio de agua municipal, los ingresos que trae la implementación del sistema es la reducción en el pago de las facturas de acueducto y alcantarillado. Este ahorro se puede estimar, calculando el Volumen Promedio Anual de Salida ( $O_{PA}$ ) desde el Almacenamiento dado por la Ecuación 9 y multiplicándolo por la tarifa de acueducto y alcantarillado por metro cúbico de agua.

$$O_{PA} = \frac{\sum_{t=1}^T O_t}{T} * 365$$

Ecuación (9)

Donde:

$O_{PA}$  (m3) : Volumen Promedio Anual de salida desde el Almacenamiento

<sup>11</sup> TEXAS WATER DEVELOPMENT BOARD, "Texas Guide to Rainwater Harvesting", Austin, Texas, 1997.

t (días)	:	tiempo
T (días)	:	Periodo total de modelación
O <sub>t</sub> (m <sup>3</sup> )	:	Volumen de salida desde el almacenamiento

En los lugares donde no se cuenta con una red de alcantarillado; sino que el abastecimiento proviene de la compra en carrotaques, o la extracción directa desde pozos subterráneos o fuentes superficiales, se debe estimar un valor por metro cúbico de agua.

## 2.2 Inversión

A partir de la realización de un presupuesto se determina el costo total de la implementación del sistema de aprovechamiento de agua lluvia, el cual puede estar discriminado en las siguientes divisiones:

- Tanque de Almacenamiento
- Dispositivo Interceptor
- Red de suministro
- Equipo de bombeo

## 2.3 Costos Fijos

Durante la vida útil del sistema se debe realizar un mantenimiento periódico de los equipos, del tanque de almacenamiento y los elementos para la conducción del agua. Por ello es necesario incluir como Costos Fijos un valor anual estimado para la realización de estas actividades.

## 2.4 Indicadores Financieros

Para la evaluación de la rentabilidad del proyecto se puede aplicar al flujo de fondos, los siguientes indicadores financieros, con su correspondiente parámetro de evaluación:

- Tasa Interna Retorno, el valor debe ser positivo.
- Valor Presente Neto, el valor debe ser positivo.
- Periodo de Retorno de la Inversión, debe existir este periodo de retorno siendo menor que el periodo de evaluación del proyecto.
- Relación Beneficio – Costo, debe ser mayor de uno.

## 2.5 Evaluación

En el caso en que los indicadores financieros cumplan con los parámetros especificados, el proyecto es rentable y se puede continuar con las etapas de diseño y construcción. El prediseño realizado es susceptible de mejoramiento, es conveniente cambiar algunos parámetros de diseño (área de captación, la Dotación Individual de agua lluvia, la distribución de la red de suministro de agua lluvia, la ubicación del tanque de almacenamiento entre otros) y evaluar de nuevo esta alternativa con la misma metodología.

Sí los indicadores financieros del proyecto no cumple con los criterios de evaluación, se debe buscar la manera de disminuir la inversión, o aumentar los ingresos. La inversión se puede disminuir cambiando el material del tanque de almacenamiento, modificando la red distribución de agua lluvia para optimizar la longitud y diámetro. Los ingresos se pueden

aumentar con el aumento del Volumen de Salida del almacenamiento ( $O_t$ ), esto se logra abasteciendo de agua a otros usos que no estaban cubiertos por el agua lluvia, o aumentando el área de captación.

Si las modificaciones realizadas no mejoran sustancialmente los indicadores financieros o hacen menos rentable el proyecto, debe pensarse en otras alternativas que no involucren el agua lluvia para el mejoramiento en el suministro de agua y el ahorro en el consumo, ya que en este caso no es factible la implementación del sistema de aprovechamiento de agua lluvia.

## CONCLUSIONES

La aplicación de la metodología propuesta a diferentes casos de estudio lleva a afirmar que es factible utilizar sistemas tecnificados de aprovechamiento de agua lluvia en Colombia para edificaciones de vivienda urbana ubicados en lugares con deficiencias en el suministro, baja calidad del agua o costos elevados. Estos sistemas son más eficientes cuando se combinan con otras fuentes de abastecimiento.

Extrapolando los resultados obtenidos en este Estudio se puede concluir que la aplicación de estos sistemas es factible en condiciones diferentes a las de vivienda urbana, por ejemplo en edificaciones institucionales, comerciales o industriales ya que existen grandes áreas de cubiertas y las demandas de agua son menores haciendo que el sistema entregue una eficiencia muy alta. En el caso de las edificaciones de usos comercial o industrial los precios del agua potable son mayores, haciendo rentable el uso de agua lluvia. El ambiente propicio para un sistema de aprovechamiento de agua lluvia son las zonas rurales o semiurbanas, ya que la densidad de personas por área de cubierta es muy baja debido al desarrollo horizontal de las construcciones, aumentando la eficiencia del sistema, además en estas zonas existen amplios espacios para la ubicación de un tanque de almacenamiento de agua lluvia de gran tamaño.

## NOMENCLATURA

$O_{pd}$ ( $m^3/hab/día$ )	:	Oferta promedio diario de agua lluvia
$P_A$ ( $m^3$ )	:	Precipitación media multianual
$A_c$ ( $m^2$ )	:	Área de captación
$N$ (-)	:	Número de habitantes
$D_t$ ( $m^3$ )	:	Demanda total de agua lluvia en un día
$D_I$ ( $m^3$ )	:	Demanda Individual de agua lluvia
$N$ (-)	:	Número de habitantes
$P_t$ (mm)	:	Precipitación diaria
$A_c$ ( $m^2$ )	:	Área de Captación
$N$ (-)	:	Número de habitantes de la edificación
$t$ (días)	:	Tiempo
$T$ (días)	:	Periodo Total de Modelación
$D_t$ ( $m^3$ )	:	Demanda Total de Agua Lluvia en un día
$R_t$ ( $m^3$ )	:	Volumen de agua lluvia
$S_t$ ( $m^3$ )	:	Volumen de agua en el almacenamiento
$S_{max}$ ( $m^3$ )	:	Volumen máximo de almacenamiento
$W_t$ ( $m^3$ )	:	Volumen de pérdidas por excedencia

$O_t$ ( $m^3$ )	:	Volumen de salida desde el almacenamiento
$M_t$ ( $m^3$ )	:	Volumen de demandas no satisfechas
$I_t$ ( $m^3$ )	:	Volumen de entrada acumulado
$O_{PA}$ ( $m^3$ )	:	Volumen Promedio Anual de salida desde el Almacenamiento
$t$ (días)	:	tiempo
$T$ (días)	:	Periodo total de modelación
$O_t$ ( $m^3$ )	:	Volumen de salida desde el almacenamiento

## REFERENCIAS

- INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES. "Estudio Nacional del Agua". Bogotá, D.C., 2000.
- MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO, "Reglamento técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico -RAS 2000-", Dirección General de Agua Potable y Saneamiento Básico. Bogotá D.C, Noviembre de 2000.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN, "Determinación de Consumos Básicos de Agua Potable", Colombia, 1991.
- DIXON, A., VILLAREAL E, "Analysis of a Rainwater Recycling System For Domestic Water Supply in Ringdansen, Norrkoping", Lund University. Sweden, 2000.
- TEXAS WATER DEVELOPMENT BOARD, "Texas Guide to Rainwater Harvesting", Texas, 1997.