

**USO DE AGUAS LLUVIAS DE TECHOS DE EDIFICACIONES, COMO  
SOLUCIÓN ALTERNATIVA AL PROBLEMA DE ESCASEZ DE AGUA  
EN EL MUNICIPIO DE BARICHARA**

**JUAN GABRIEL GONZÁLEZ BARRAGÁN  
DIEGO ALEXANDER GONZÁLEZ BECERRA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO MECANICAS  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
BUCARAMANGA**

**2009**

**USO DE AGUAS LLUVIAS DE TECHOS DE EDIFICACIONES, COMO  
SOLUCIÓN ALTERNATIVA AL PROBLEMA DE ESCASEZ DE AGUA  
EN EL MUNICIPIO DE BARICHARA**

**JUAN GABRIEL GONZÁLEZ BARRAGÁN  
DIEGO ALEXANDER GONZÁLEZ BECERRA**

**Trabajo de grado para optar el título de  
Ingeniero Civil**

**Directora:  
SULLY GOMEZ ISIDRO  
Ingeniera Civil M.Sc , Ph D.**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO MECANICAS  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
BUCARAMANGA**

**2009**

## CONTENIDO

Introducción .....	9
Objetivos.....	10
Objetivo General.....	10
Objetivos Específicos .....	10
1.    Revisión de la situación de escasez de agua en Barichara. .	11
1.1 Aspectos Sociales.....	11
1.2 Aspectos Técnicos.....	12
1.3 Aspectos Administrativos.....	14
2.    Revisión de Información Hidrológica.....	15
2.1 Antecedentes.....	16
2.2 Análisis de Lluvias .....	17
2.3 Análisis de Periodos Secos.....	22
3.    Captación de Aguas Lluvias de Techos .....	34
3.1 Componentes del Sistema.....	36
3.1.1 Captación.....	36
3.1. Recolección y Conducción.....	36
3.1.3 Sistema de Almacenamiento .....	38
3.2 Dotación.....	38
3.3 Dimensionamiento de Tanques de Almacenamiento.....	39
4.    Análisis de Resultados .....	43
4.1 Análisis de valores extremos de la Curva Área de Techo Vs Volumen de Tanque.....	44
4.2 Análisis detallado del Cambio de Comportamiento en la Curva Área Versus Volumen de Tanque .....	46
4.2.1 Análisis de Valores Pico de la Curva Área - $\Delta$ Volumen (Gráfica 4.5).....	48
4.3 Sistema Propuesto.....	50
4.4 Presupuesto.....	52
Conclusiones .....	54
Recomendaciones.....	55
Bibliografía .....	56

## RESUMEN

**TITULO:** USO DE AGUAS LLUVIAS DE TECHOS DE EDIFICACIONES, COMO SOLUCIÓN ALTERNATIVA AL PROBLEMA DE ESCASEZ DE AGUA EN EL MUNICIPIO DE BARICHARA\*

**AUTORES:** Juan Gabriel González Barragán  
Diego Alexander González Becerra\*\*

**PALABRAS CLAVE:** Mesa de Barichara, precipitaciones, captación, dotación, periodos secos, periodos de retorno, método de pico secuente, tanque óptimo, Santander, Colombia.

### DESCRIPCIÓN:

La situación de estrés hídrico que afronta la región de la mesa de Barichara causada principalmente por la escasez de fuentes superficiales de abastecimiento, ha llevado a que la población sea sometida a fuertes racionamientos cercanos al 90%; a tal punto, que la disponibilidad de agua en la región se ha convertido en un factor limitador del desarrollo económico.

En este documento se plantea el uso de aguas lluvias como solución alternativa a la situación de escasez en la región y así aumentar la oferta de agua potable en el municipio de Barichara, teniendo en cuenta que la captación de agua pluvial constituye una alternativa viable, ecológica y económica, para enfrentar a corto plazo el problema, debido a su fácil implementación.

En este estudio como alternativa de solución a la problemática, se dimensionaron tanques de almacenamiento de aguas lluvias óptimos, partiendo de los análisis de superficies de captación y de estudios realizados a partir de la serie de precipitaciones diarias de 20 años tomadas de la estación pluviométrica Santa Isabel (IDEAM) ubicada en municipio de Barichara, se concluyó que con el área de cubierta de una vivienda típica de la región de aproximado 80 m<sup>2</sup> y un volumen de almacenamiento óptimo, se puede abastecer una familia, con una dotación equivalente a 8 horas de acueducto al día los 365 días del año, con un porcentaje de fallas del 0.11%.

---

\* Trabajo de Grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director(a): Ing. Sully Gómez Isidro.

## ABSTRACT

**TITLE:** WATER USE RAINS OF ROOFS OF BUILDINGS, AS ALTERNATIVE SOLUTION TO THE PROBLEM OF WATER SHORTAGE IN BARICHARA'S MUNICIPALITY\*.

**AUTHORS:** Juan Gabriel González Barragán  
Diego Alexander González Becerra\*\*

**KEY WORDS:** Barichara's table, rainfalls, captation, endowment, dry periods, return periods, method of beak(peak) recurrent, ideal tank, Santander, Colombia.

### DESCRIPTION:

The situation of water stress that confronts the region of Barichara's table caused principally by the shortage of superficial sources(fountains) of supply, has led that the population is submitted to strong rations close to 90%; to such a point, that the water availability has turned into a limiter factor of the economic development.

In this document the water use appears rains as alternative solution to the situation of shortage in the region and thereby increase the supply of drinking water in the town of Barichara, bearing in mind that the captation of rain water constitutes a viable, ecological and economic alternative, to face in the short term the problem, due to easy implementation.

In this study as an alternative solution to the problem, is dimensioned tanks store rainwater optimal, based on the analysis of catchment areas and studies from the series of daily rainfalls of 20 years taken from the station pluviometric Holy Isabel (IDEAM) located in the municipality of Barichara, concluded that with the area of cover of a typical housing of the region of approximately 80 m<sup>2</sup> and a volume of ideal storage, it is possible to supply a family, with an endowment equivalent to 8 hours(o'clock) of aqueduct a day 365 days of the year, with a percentage of faults of 0.11 %.

---

\* Work of Grade

\*\* Ability of Physical-mechanical Engineerings. Civil Engineering. Director: Ing. Sully Gomez Isidro.

## Introducción

El planeta tierra ha venido perdiendo el equilibrio entre la cantidad de aguas utilizables y la demanda. Este desequilibrio entre el volumen del agua utilizable disponible y la demanda para la misma no sólo ha llevado a escasez de agua, sino también a otros serios problemas vinculados con el agua, como hambre y desnutrición.

Colombia es un país privilegiado en cuanto a recursos hídricos se refiere, debido a su posición geográfica en la zona ecuatorial, que la ubica bajo la influencia de los vientos alisios del noreste y sureste. Estas corrientes de aire calido y húmedo, provenientes de las latitudes subtropicales de los dos hemisferios, originadas en los océanos atlántico y pacífico, convergen en la franja denominada Zona de Confluencia Intertropical (ZCIT), dentro de la cual se sitúa Colombia; franja que se caracteriza por lluvias copiosas y de gran intensidad, con precipitaciones superiores a los 2000mm al año. Sin embargo esta banda (ZCIT) se desplaza hacia el sur o hacia el Norte según las estaciones, lo que genera un régimen de precipitación bimodal dominado por dos épocas húmedas (Marzo-Abril y Octubre-Noviembre) y dos épocas secas (Junio-Julio y Diciembre-Enero), lo que hace que en Colombia muchas regiones se vean sometidas a la escasez del recurso en épocas secas, puesto que las lluvias son intensas dificultando la recarga de acuíferos en ciertas zonas, haciendo escasas las fuentes de abastecimiento permanentes.

Una de estas regiones con escasez de recurso hídrico es la provincia Guanentina del departamento de Santander, la cual tiene indicadores de escasez altos, de 86% a 46%, que expresan una elevada presión sobre el recurso hídrico superficial, como se concluyó en los estudios realizados en 2007 para obtener un balance hídrico a largo plazo en la mesa de Barichara<sup>1</sup>. Dentro de esta provincia santandereana se encuentra el municipio de Barichara; el cual es objeto central de este trabajo, debido a

---

<sup>1</sup> Proyecto de Grado: Balance Hídrico a Largo Plazo e Información Hidro Climática en la Mesa de Barichara/Diana H. Caballero y Juan C. Pérez/Escuela de Ingeniería Civil/Universidad Industrial de Santander/Bucaramanga 2007.

su alto valor sociocultural, y su potencial turístico por ser declarado monumento nacional, y la existencia de una situación real de estrés hídrico<sup>2</sup>.

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

Formular una alternativa para aumentar la oferta de agua en el municipio de Barichara, mediante la captación de aguas lluvias provenientes de los techos de las edificaciones.

### **Objetivos Específicos**

Proporcionar información básica para la captura de agua de lluvia como alternativa para afrontar la escasez del recurso

Dimensionar tanques de almacenamiento de aguas lluvias partiendo de los análisis de precipitaciones y superficies de captación de un sistema de aprovechamiento de aguas pluviales en el municipio de Barichara.

Dar a conocer los componentes de un sistema de aprovechamiento de aguas lluvias utilizando los techos como superficie de captación.

---

<sup>2</sup> \_ Ibídem.

## **1. Revisión de la situación de escasez de agua en Barichara.**

A través de los años el municipio de Barichara se ha visto afectado por problemas relacionados con el suministro de agua potable, debido a la escasez de fuentes de abastecimiento y a que su precipitación esta caracterizada por la ocurrencia de lluvias cortas con alta intensidad; dicha problemática se ha acentuado en los últimos años con el acelerado crecimiento y desarrollo urbano, propiciado por el auge turístico de la región. Actualmente es evidente la escasez del recurso, lo cual se refleja en los constantes racionamientos a que es sometida la población urbana y rural de los municipios de Villanueva, Cabrera, Barichara y el corregimiento de Guane; los cuales se surten del acueducto El Común, el cual se abastece de un embalse que parece haber superado la vida útil. Esta situación ha acarreado serios problemas para la comunidad en general, a tal punto que la disponibilidad de agua se ha convertido en un factor limitador del desarrollo económico<sup>3</sup>.

### **1.1 Aspectos Sociales**

La situación de escasez de agua, tiene un impacto notable en la región debido a que el desarrollo socioeconómico del municipio de Barichara en la zona rural gira en torno a la agricultura y la ganadería, y la baja fertilidad de los suelos, la marcada dependencia al régimen pluviométrico y la ausencia sistemas de riego y almacenamiento de agua adecuados para afrontar épocas de verano, limita drásticamente estas actividades, a pesar de que sus gentes tienen gran vocación agropecuaria. Sumado a esto la situación se agudiza teniendo en cuenta que la mayor parte de los agricultores producen por medio de créditos otorgados por las empresas tabacaleras, las cooperativas de la región y entidades financieras, las cuales como garantía cuentan con las escrituras de las fincas o bienes raíces<sup>4</sup>. De persistir esta situación, sería inevitable la pérdida de cultivos,

---

<sup>3</sup> Ibídem.

<sup>4</sup> Comunicado de prensa Asociación de Organizaciones Campesinas y Populares de Colombia - El Común/Vanguardia Liberal sección Regional Sur Domingo 7 de Junio de 2009.

y la disminución de la ganadería con graves consecuencias económicas, desempleo y migración de la población hacia las ciudades.

En el sector urbano predominan el comercio, manufacturas, artesanías y alfarería; actividades enfocadas al turismo que se ha convertido en el eje del desarrollo urbano y uno de los principales renglones de la economía del municipio, renglón que no ha sido inmune a la situación de escasez de agua que ha conllevado a racionamientos permanentes, lo cual se traduce en que los hoteles, prestan un servicio con mucha limitación y de poca calidad.

Pese a que la actividad turística se encuentra limitada por la disponibilidad del recurso, aún no se han registrado pérdidas apreciables como consecuencia de esta situación, pero se ha disminuido considerablemente la calidad de vida en la población, situación que es percibida también por los visitantes, y podría llevar a una disminución en la afluencia de turistas a corto plazo en el municipio. Se espera que el año 2009 sea un año crítico debido a que los primeros meses el racionamiento ha sido cercano al 90% del día, contando solo con agua solo durante dos horas al día.

## **1.2 Aspectos Técnicos**

Acorde con lo expuesto, se han propuesto varias alternativas de solución con sistemas entubados, entre las cuales esta el llamado acueducto de la quebrada Chirivití del municipio de Galán, sin embargo, la mesa de Barichara pese a estar ubicada entre las cuencas bajas de los ríos Suárez, Chicamocha y Fonce (*Ver Figura 1.2.1*), su localización en un altiplano conformado por mesas y mesetas, hace muy costoso el transporte del líquido hacia las zonas productivas y asentamientos humanos, catalogándose como zona deficitaria.

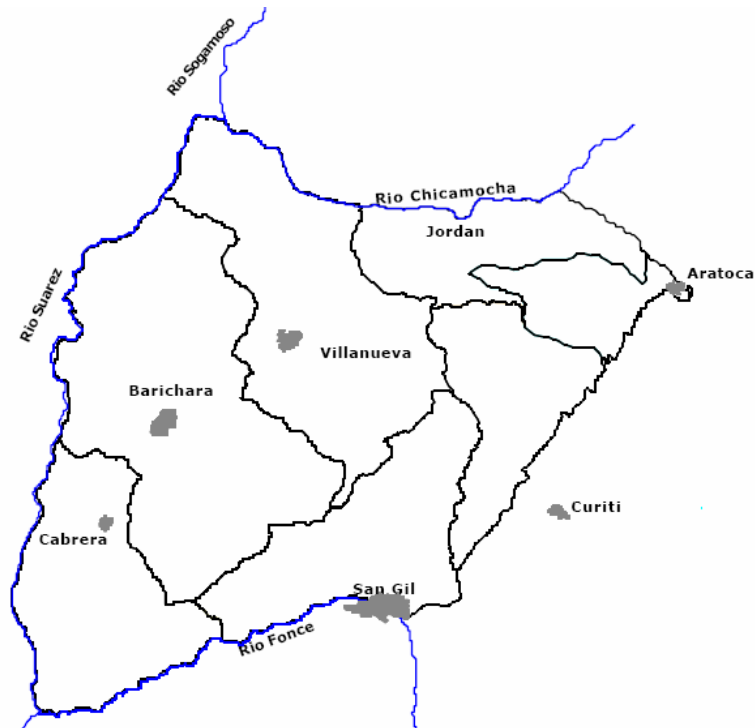


Figura 1 Localización de Barichara en la provincia Guantánamo<sup>5</sup>

Como ya se mencionó, el acueducto del municipio de Barichara se abastece de la represa del Común la cual está ubicada entre los municipios de Barichara y Villanueva. Esta represa fue construida en 1984 y durante toda su vida no ha sido dragada; por lo que su capacidad de almacenamiento se encuentra disminuida, teniendo a penas una capacidad de bombeo de 50 litros por segundo. A esto se suma que el acueducto que se construyó hace 28 años es deficiente debido a su obsolescencia, y al único tanque de almacenamiento sólo llegan 38.000 litros diarios de los 114.000 que requiere la población en época vacacional, para garantizar el servicio las 24 horas a los 1.100 usuarios de la empresa. En las épocas de verano intenso se ha recurrido a un carro de Bomberos de San Gil, que lleva a diario 11.000 litros de agua potable, que de igual manera no alcanzan para las necesidades del municipio, teniendo como resultado los constantes racionamientos a que es sometida la población.

---

<sup>5</sup>Balace Hídrico a Largo Plazo e Información Hidro Climática en la Mesa de Barichara/ Diana H. Caballero y Juan C. Pérez/Escuela de Ingeniería Civil/Universidad Industrial de Santander/Bucaramanga 2007.

### **1.3 Aspectos Administrativos**

La problemática del agua en la región de la mesa de Barichara, no solo es conocida por los habitantes de la región sino que ha trascendido sus fronteras, puesto que se ha agudizado dramáticamente en el último año, de manera tal, que han tenido que padecer fuertes racionamientos que han llevado a que esta población tenga solo dos (2) horas de agua al día en la última época seca y húmeda, lo que ha hecho que en repetidas ocasiones se haya declarado la emergencia sanitaria. La situación se ha convertido en una preocupación para todo el departamento, pues el municipio de Barichara es uno de los más importantes atractivos turísticos de Santander gracias a la conservación de su arquitectura colonial.

Diferentes entidades en la región se han enfocado en que los problemas de agua que sufre el municipio de Barichara durante las épocas de alta temporada vacacional, se han originado por la baja capacidad de su planta de tratamiento actual; para lo cual, se han gestionado recursos ante la gobernación para su ampliación y modernización.

Si bien es cierto que la planta debe ser ampliada y modernizada, la problemática no solo depende de la capacidad de tratamiento y almacenamiento de la planta sino que, en gran medida, depende de la no disponibilidad del recurso; hecho que se agudiza en las temporadas de mayor afluencia turística, las cuales coinciden con las épocas de verano intenso. Frente este panorama la administración municipal ha planteado que la única alternativa de solución es la construcción del acueducto de la quebrada Chirivití del municipio de Galán, el cual tiene un costo aproximado de 20.000 millones de pesos<sup>6</sup>.

Sin embargo, el problema de escasez no solo se presenta por la gran afluencia de turistas, si no que cada vez es más difícil abastecer a la población en toda la época seca; y pese a la preocupación de los gobernantes por encontrar una solución definitiva al problema, muy poco se ha hecho para mitigar el impacto de la escasez del recurso a mediano

---

<sup>6</sup> Vanguardia Liberal/Sección Regional Sur/Junio 28 de 2009

y corto plazo, pues no hay políticas serias de concientización de la población, que conduzcan a generar una nueva cultura de manejo eficiente del agua, así como tampoco hay políticas de preservar las fuentes hídricas, ni programas de siembra de bosques jóvenes que permitan aumentar y mejorar las zonas de recarga de las quebradas de la zona<sup>7</sup>. Tampoco se han tomado medidas correctivas en los sistemas de aducción y conducción para disminuir las pérdidas en el sistema, ni se ha considerado la posibilidad de captar aguas lluvias como recurso alternativo.

Es realmente preocupante que no se tengan políticas de mitigación de corto, mediano y largo plazo y en este sentido solo se estén tomando medidas mediáticas cuando se presenta la emergencia sanitaria, esto evidencia el desconocimiento real de la situación que requiere de medidas de mitigación a corto plazo mientras se implementa alguna solución definitiva.

## 2. Revisión de Información Hidrológica

Para llevar a cabo este estudio se tomó como punto de partida la información de precipitación diaria contenida en las series de datos de las estaciones pluviométricas de Barichara (Coltabaco) y Santa Isabel (Ideam), que están ubicadas en inmediaciones del municipio de Barichara, como se muestra en la figura 2.1.

Estaciones	Periodo		Coordenadas			
	F. Inic.	F. Fin	Este	Norte	Latitud	Longitud
Barichara	01/01/ 1985	31/07/ 2006	1094417	1225486	06 38	73 13
Santa Isabel	28/11/ 1973	31/08/ 2004	1097111	1225173	06 38 04	73 12 10

Cuadro 2.1 Información Estaciones Pluviométricas.

<sup>7</sup> Editorial Donaldo Ortiz Latorre/Vanguardia Liberal Julio 6 de 2009

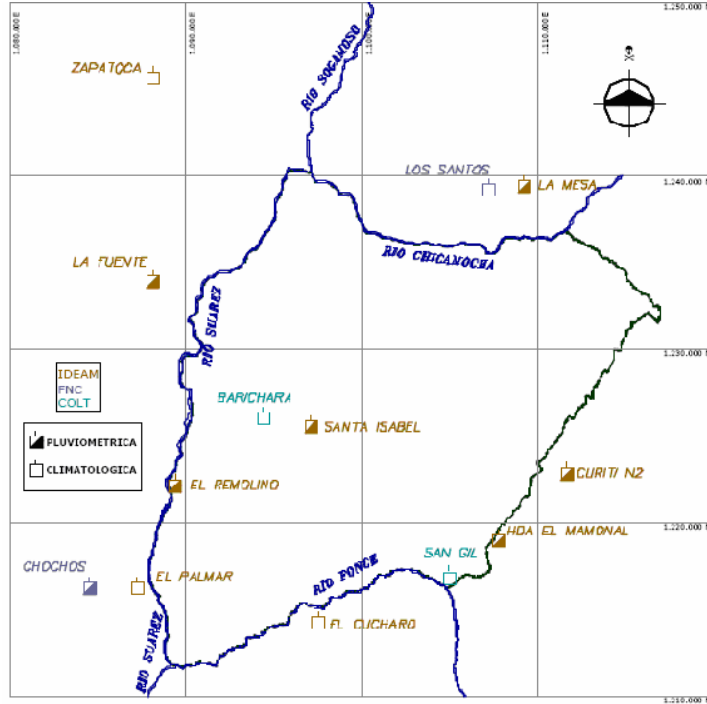


Figura 2 Localización Estaciones Mesa de Barichara<sup>8</sup>

Estación	Altura	Precipitación Anual mm
Barichara (Coltabaco)	1290	1085.17
Santa Isabel (IDEAM)	1300	1089.41

Cuadro 2.2 Precipitación Anual Promedio

## 2.1 Antecedentes

Para estudiar más a fondo la problemática de la región, se tomó como principal referencia el proyecto Balance Hídrico a Largo Plazo e Información Hidro-Climática en la Mesa de Barichara Ingeominas – UIS realizado en 2007<sup>9</sup>. De este estudio se pudo determinar que la zona Guanentina en general es una zona deficitaria del recurso, debido a que el 60% de la región Guanentina presenta infiltración potencial nula y baja<sup>10</sup>, lo que indica que los fuertes problemas de escasez no se atenúan

<sup>8</sup> Balance Hídrico a Largo Plazo e Información Hidro Climática en la Mesa de Barichara/ Diana H. Caballero y Juan C. Pérez/Escuela de Ingeniería Civil/Universidad Industrial de Santander/Bucaramanga 2007

<sup>9</sup> Ibidem.

<sup>10</sup> Ibidem.

lo suficiente, con el desarrollo de infraestructura destinada al aprovechamiento de la esorrentía.

Gracias a este estudio se pudo establecer que aunque el IDEAM clasifica la zona Guanentina como una región que no presenta problemas de escasez (categoría no significativa), se obtuvieron indicadores de escasez altos (en escala 1:25000), de 86% a 46% que expresan una elevada presión sobre el recurso hídrico superficial, lo que indica que es de suma importancia un reordenamiento de la oferta (búsqueda de fuentes alternativas de abastecimiento) y la demanda en la región.

## **2.2 Análisis de Lluvias**

Se analizaron las series de precipitación diaria de las estaciones Santa Isabel y Barichara, desde 1985 hasta el año 2004, para encontrar la precipitación promedio anual y mensual, periodos de sequía, máximo periodo de días secos consecutivos, comportamiento bimodal, y comportamiento multianual de las lluvias.

La información de las estaciones mencionadas hace parte de las series de datos utilizadas en el proyecto de balance hídrico a largo plazo en la mesa de Barichara<sup>11</sup>, en el cual se hizo un análisis riguroso para determinar cambios de tendencia, utilizando pruebas de estabilidad de media y varianza, con los cuales se pudo determinar que la tendencia en estas series es decreciente pero no es significativa y por tanto, se puede decir que no hay inconsistencia en los datos y que las series son homogéneas<sup>12</sup>. Analizando cuidadosamente las series de datos diarios para observar los comportamientos estacionales durante el año y determinar con certeza la cantidad de agua utilizable, y la naturaleza de los periodos de sequía que se pretenden mitigar, como primer paso se hizo la revisión de datos faltantes diarios en las series de las dos estaciones y, luego se hizo una revisión de los datos faltantes mensuales, teniendo como criterio de dato faltante mensual, todo mes en cuya serie de precipitación diaria faltaran más de cinco datos

---

<sup>11</sup> \_ Ibídem.

<sup>12</sup> \_ Ibídem/Análisis estadístico página 32 y anexo 1.

Una vez realizado este proceso se hizo una revisión más exhaustiva de los meses que aparecían como faltantes, para verificar si realmente los datos faltantes diarios alteraban de manera considerable la precipitación mensual, y si no, obtener un valor mensual con los datos restantes. Para llevar a cabo este proceso de llenado de datos, se compararon los datos de las dos estaciones, y debido a que muchos de estos faltantes se daban en épocas secas, se observó que en estos casos no afectaban de manera significativa el valor mensual de precipitación y se procedió a llenar con ceros los valores diarios faltantes, y luego los valores mensuales con la sumatoria de precipitaciones del mes. Este proceso solo se aplicó a los datos de la estación Barichara pues la serie de datos de la estación Santa Isabel solo tiene datos faltantes en los últimos cuatro meses del año 2004, en los cuales no hubo registro alguno. De este análisis se pudo establecer el porcentaje de datos faltantes de cada estación, antes y después del llenado de datos para los valores diarios con ceros y para los mensuales como ya se indicó, con la sumatoria de los datos restantes, dicho análisis se resume en los siguientes cuadros:

Estaciones	Datos Faltantes (Diaros)		% D.F. en el Periodo	Datos Faltantes (Mensual)		% D.F. en el Periodo
	Periodo	Cant.		Periodo	Cant.	
Barichara	1985-2004	458	6.3	1985-2004	19.0	8
S. Isabel	1985-2004	122	1.7	1985-2004	4.0	1.7

Cuadro 2.2.1 Porcentaje de datos faltantes sin llenado de datos.

Estaciones	Datos Faltantes (Diaros)		% D.F. en el Periodo	Datos Faltantes (Mensual)		% D.F. en el Periodo
	Periodo	Cant.		Periodo	Cant.	
Barichara	1985-2004	396	5.4	1985-2004	13.0	5.4
S. Isabel	1985-2004	122	1.7	1985-2004	4.0	1.7

Cuadro 2.2.2 Porcentaje de datos faltantes con llenado de datos.

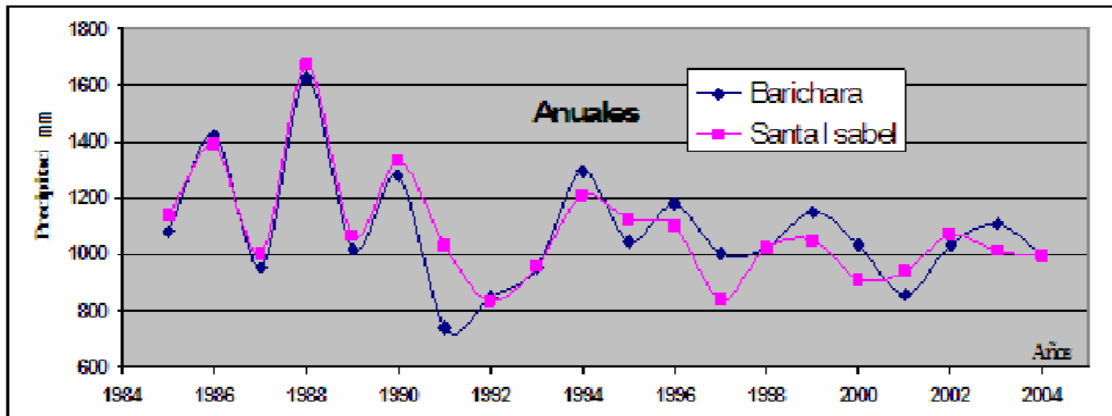
Cuadro de llenado de datos de precipitación estación Barichara. (mm de lluvia mensual y anual)													
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Totales
1985	44	37.5	96	64.5	54.5	108	99	140.5	98	180	115	44	1081
1986	17	80	45	172.5	208	102.5	66	102	147.5	314	143	25.5	1423
1987	37	68.5	0	37	208.5	82	88.5	63.5	110.5	220	31.5	8.5	955.5
1988	100	165	7	150	169	173	172	194	68	189	143	98.5	1628.5
1989	37	23.5	137.5	4	134	43	96	70.5	205	139	48	78	1015.5
1990	61.5	24	99.5	79.5	152.5	142	76.5	173.5	87	211.5	86	88.5	1282
1991	0	25	70.3	86	123.5	45	76	56	0	122	134	0	737.8
1992	21.5	20	10.5	49.5	123.5	65.5	144	73.5	145	47.5	124	23.5	848
1993	71	10	64.5	178.5	104	79.5	45	23	176	103.5	78.5	19	952.5
1994	42	64.5	73	181.5	136	59	110.5	56	231	121	181	39	1294.5
1995	0	37	DF	83	154	87	85	165	132.5	181	73	49	1046.5
1996	30	46	173	131	130.5	81	115	131	117	137	64	24	1179.5
1997	27	121	59	124	139	129	53	96	85	121	46	0	1000
1998	DF	DF	DF	DF	DF	DF	DF	DF	DF	DF	DF	DF	DF
1999	34	78	57	121	127	99	152	54	167	162	91	9	1151
2000	52	90	49	101	110	54	96	65	154	188	58	15	1032
2001	45	0	0	76	94	108	107	52	123	127	100	23	855
2002	26	5	170	196	174	79	48	55.5	54.5	157	32	36	1033
2003	34	70	106	169	46	91	72	149	92	177	88	15	1109
2004	35	35	59	106	207	25	43	33	124	209	101	17	994
Prom	37.6	54.2	68.2	111.1	137.3	86.9	92.7	92.3	121.9	163.5	91.4	34.8	1091.9
<b>Promedio con los totales anuales →</b>													<b>1085.17</b>

Cuadro 2.2.3 Datos Mensuales Estación Barichara

Cuadro de llenado de datos de precipitación estación Santa Isabel. (mm de lluvia mensual y anual)													
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Totales
1985	46	57	97	93	53	115	90	150	102	160	112	62	1137
1986	26	93	18	186	178	80	78	88	157	309	144	30	1387
1987	39	80	51	86	149	70	87	65	100	195	56	22	1000
1988	58	172	59	118	203	164	157	182	114	228	112	105	1672
1989	27	40	117	20	128	53	132	50	190	153	127	27	1064
1990	60	56	110	104	189	153	83	131	96	203	67	82	1334
1991	4	24	73	93	181	67	74	68	156	165	117	6.8	1028.8
1992	22	36	5	63	133	109	130	57	128	46	80	28	837
1993	56	2	133	190	67	112	48	30	164	78	62	15	957
1994	58	50	78	162	143	70	104	82	209	83	96	74	1209
1995	0	26	95	115	160	72	95	180	83	210	34	55	1125
1996	31	37	150	88	120	75	111	121	103	164	78	23	1101
1997	40	96	70	85	130	56	38	103	90	98	33	0	839
1998	4	20	50	68	116	69	135	142	86	160	66	107	1023
1999	0	72	51	117	104	95	128	65	152	168	82	17	1051
2000	56	52	28	93	76	34	76	40	194	148	84	31	912
2001	20	19	15	56	92	80	134	98	199	132	59	34	938
2002	51	3	137	125	228	72	64	32	132	152	49	28	1073
2003	8	41	96	184	59	89	70	116	106	133	84	25	1011
2004	83	40	35	100	205	46	45	19	DF	DF	DF	DF	DF
Prom	34.4	50.8	73.4	107.3	135.7	84.1	93.9	90.9	134.8	157.1	81.2	40.6	1084.3
<b>Promedio con los totales anuales →</b>													<b>1089.41</b>

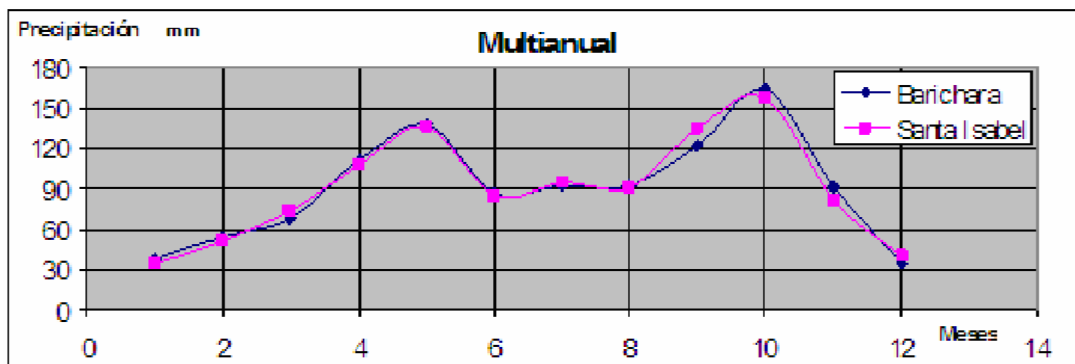
Cuadro 2.2.4 Datos Mensuales Estación Santa Isabel

Con base en los cuadros de precipitación anual se hizo una gráfica para observar el comportamiento de las lluvias en todo el periodo analizado así:



Gráfica 3 Precipitaciones Anuales\*

En esta gráfica se puede observar como las precipitaciones se intercalan entre años secos y años lluviosos, y como entre los años 91 y 93 o el año 97 este comportamiento se ve alterado por fenómenos globales como el fenómeno del niño, tomando en cuenta la disminución en las precipitaciones. También se hizo una gráfica de precipitación mensual con los promedios anuales en la cual se puede observar claramente el carácter bimodal de las lluvias en la zona, y se puede apreciar que la época seca crítica comprende los meses de Diciembre, Enero y Febrero meses 12, 1 y 2 respectivamente en la gráfica:



Gráfica 4 Precipitaciones mensuales

\* Nota: En la serie de datos de la estación Barichara no hay datos del año 1998, pero para obtener una gráfica coherente se tomo para este año el valor de precipitación anual de la estación Santa Isabel. Algo similar se hizo para el valor del año 2004 de la estación Santa Isabel en el cual faltan cuatro meses de registro, se tomo el valor de la estación Barichara para obtener una gráfica consistente.

Además de las gráficas anteriores se hizo una observación meticulosa de los valores diarios y se encontró que las precipitaciones registradas son de gran intensidad intercaladas con largos periodos secos; estos eventos extremos sumado a la falta de vegetación que ayude a retener el agua en el suelo, hace que el agua fluya rápidamente dificultando su aprovechamiento. Este comportamiento se hace evidente en que las lluvias se presentan en aproximadamente el 25% de los días en el año, distribuidos en las dos épocas lluviosas, lo que equivale a decir, que en promedio de los 365 días del año 274 son días secos o días sin lluvia.

### **2.3 Análisis de Periodos Secos**

En términos generales una sequía puede ser considerada como la insuficiente disponibilidad de agua en una región, por un período prolongado, para satisfacer las necesidades; necesidades que dependen de la distribución de las poblaciones de plantas, animales y seres humanos, de su modo de vida y del uso de la tierra.

Es un hecho comprobable que la sociedad, por lo general, se encuentra mal informada y poco preparada para afrontar una situación de sequía. El público y los responsables de la toma de decisiones tienden a ocuparse preferentemente de los problemas cotidianos, y aquellos otros poco frecuentes o inesperados, como lo son los causados por la sequía, suelen contemplarse muy por encima hasta que suceden de nuevo, y entonces atraen la atención general. Una vez pasada la sequía es frecuente que se olvide con rapidez sin pensar en que el fenómeno se volverá a presentar. Es un hecho generalizado en la región, pensar en que la próxima sequía no será tan grave como la anterior, actitud que es también común entre los agricultores y que, desafortunadamente, tienden a imitar los responsables de la planificación y de la toma de decisiones.

Una de las acciones preventivas más importantes es la predicción; esta nos permite implementar de manera anticipada métodos para minimizar los

impactos de la sequía. Empleando las predicciones producto del análisis de datos y la investigación de la frecuencia y la duración de las sequías en el pasado, se pueden realizar pronósticos que permitan alertar al público para que la sociedad esté mejor preparada frente a tales fenómenos, lo que da como resultado acciones, conscientes y sistemáticas, que pueden ayudar a aliviar sus consecuencias. Con este fin se hizo un análisis detallado de los periodos secos partiendo de la información pluviométrica de la región.

Con el propósito de tener un criterio base para empezar a dimensionar los volúmenes de agua que se pueden captar, y las dimensiones de los tanques de almacenamiento que se requieren para afrontar las temporadas de sequía, se decidió en un inicio tomar como día seco, todos aquellos días cuya precipitación fuera menor de 3.5mm, puesto que se propone diseñar un sistema de aprovechamiento de aguas lluvias en Barichara, captando el agua de los techos de las edificaciones existentes, los cuales en su gran mayoría son cubiertas de teja de barro\*, y esta puede absorber agua hasta alrededor del 9% de su peso; lo que equivale a 3.5mm de lluvia\*\*. Luego se decidió tomar como criterio de día seco, precipitaciones inferiores a 5mm puesto que además de la absorción de las tejas, también hay pérdidas por efectos de evaporación.

De estos análisis y con este último criterio se logró determinar el máximo periodo de días secos consecutivos de cada año, y de estos el máximo de toda la serie de 20 años, que en la estación Barichara fue de 77 días secos consecutivos y en la estación Santa Isabel un máximo de 92 días, que equivaldrían a un periodo crítico de 3 meses de sequía. Con estos datos de máximos periodos secos anuales se procedió a hacer histogramas de frecuencia con el objetivo de poder realizar un ajuste a una distribución de probabilidad teórica, para estimar acertadamente la probabilidad de

---

\* La mayor parte de los techos en Barichara se hacen con tejas de barro debido a la reglamentación urbanística y arquitectónica del municipio que solo permite hacer construcciones con arquitectura colonial.

\*\* Fuente: Ladrillera Santa Fe/[www.santafe.com/](http://www.santafe.com/) Peso teja española 2.5Kg/un → 16 unidades por m<sup>2</sup>.

excedencia de estos periodos secos, y así hallar un periodo de retorno de cada uno de estos eventos de sequía extrema con los cuales determinar la vida útil para la cual se debería diseñar sistema.

### Definición de periodo de Retorno Utilizada

El *Período de Retorno* se define como el tiempo que transcurre entre dos sucesos iguales. Sea ese tiempo, T.

*Probabilidad de Excedencia*: es la probabilidad asociada al período de retorno. Así:  $P_{\text{excedencia}} = P_x(x) = 1/T$

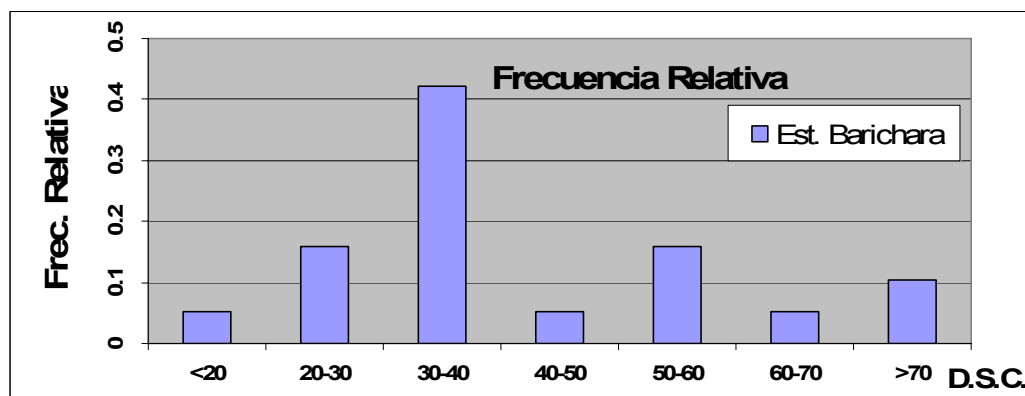
En otras palabras, la probabilidad de que la variable aleatoria tome un valor igual o inferior a cierto número X, está dado por la función de distribución de probabilidad F (X).

$$F(x) = \int_{-\infty}^x f(x)dx = P(x \leq X) = 1 - \frac{1}{T}$$

Luego, la probabilidad de que x sea mayor que X está dada por la función complementaria.

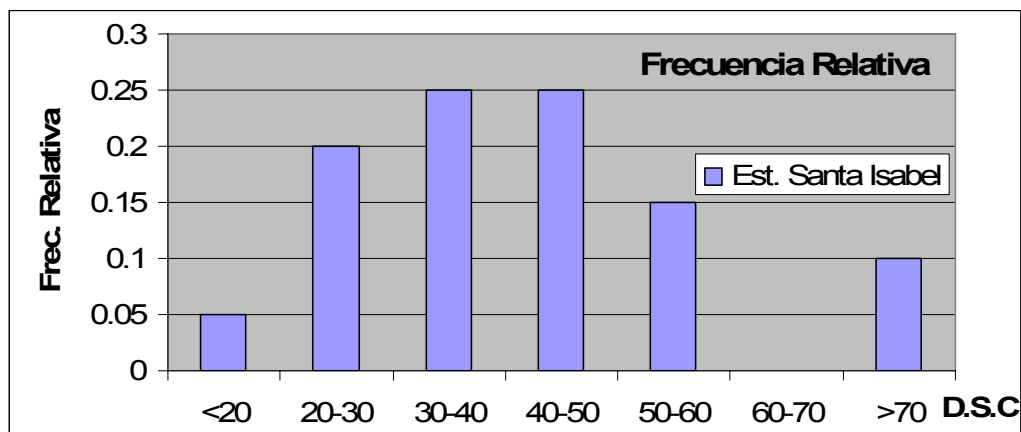
$$P(x > X) = 1 - F(X) = 1/T^{13}$$

### Histogramas de Frecuencia Relativa (D.S.C = *Días secos consecutivos*)



Gráfica 5 Histograma de frecuencia relativa serie Estación Barichara

<sup>13</sup> Fuente: Fundamentos de Hidrología de Superficie/Francisco Javier Aparicio Mijares/Editorial Limusa/México D.F. 1999



Gráfica 6 Histograma de frecuencia relativa serie Estación Santa Isabel

El primer ajuste a una distribución teórica, se hizo utilizando la función de distribución de probabilidad normal, y luego con la distribución de probabilidad de Gumbel o de valores extremos. Luego se aplicó una prueba de bondad de ajuste, que en ambos casos fue  $\chi^2$  (Chi-cuadrado) con un nivel de confianza del 95%, para determinar si se ajustaban o no a las distribuciones propuestas, y con la que mejor se ajustara, emplearla para hallar la probabilidad de excedencia correctamente.

Para realizar el ajuste a la conocida distribución teórica normas se procedió a obtener los parámetros estadísticos requeridos para ello:

Variable Días Consecutivos sin lluvia:

Máximo absoluto	77
Varianza	280.9
Desviación estandar	16.76
Media aritmética	41.95
Media geométrica	38.99
Coficiente de Asimetria	0.806
Coficiente de variación	0.4

Para los datos de la Estación Barichara

Máximo absoluto	92
Varianza	324
Desviación estandar	18
Media aritmética	42.2
Media geométrica	38.87
Coficiente de Asimetria	1.107
Coficiente de variación	0.427

Para los Datos de la Est. Santa Isabel

La distribución de probabilidad normal esta definida por la siguiente ecuación (Hidrología Aplicada Ven Te Chow páginas 367 a 369)<sup>14</sup>:

$$f_{(x)} = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp\left[-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right]$$

A continuación se consignan la tabla de máximo número de días secos consecutivos con los cuales se hizo el análisis de periodos de retorno con base en la probabilidad de excedencia del evento crítico.

Máximos anuales		
Año	Barichara	Santa Isabel
1985	34	22
1986	29	43
1987	46	34
1988	34	30
1989	55	37
1990	18	20
1991	71	70
1992	36	48
1993	33	56
1994	23	19
1995	55	58
1996	25	26
1997	69	92
1998	D.F.	41
1999	39	39
2000	35	45
2001	77	26
2002	50	36
2003	31	53
2004	37	49

Cuadro 2.3.1 Máximo número de días secos consecutivos

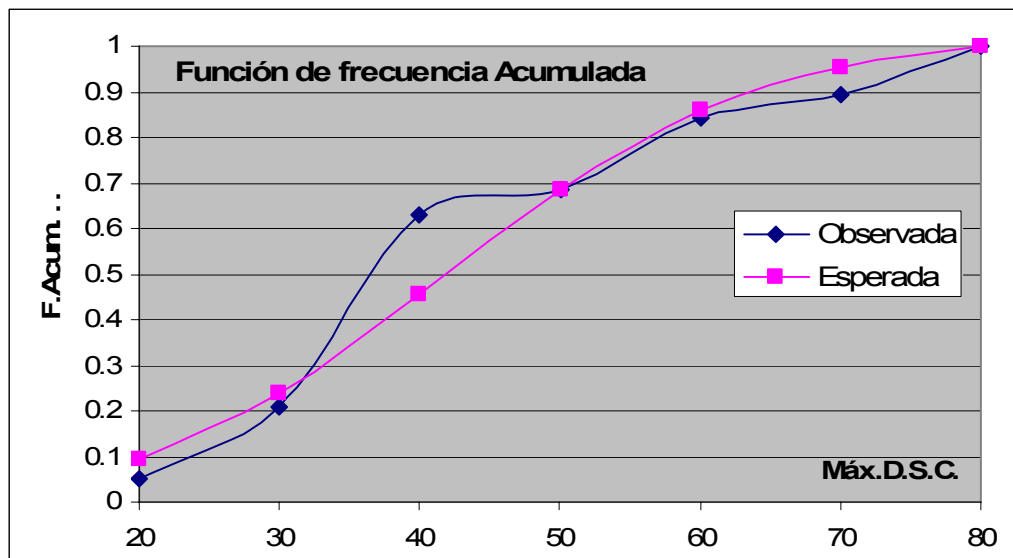
<sup>14</sup>Extraído de: Hidrología Aplicada/V. T. Chow, D. R. Maidment y L. W. Mays/McGraw-Hill/Bogotá Colombia 1994

En ambos casos el ajuste se revisó con la prueba de bondad de Chi-cuadrado así:

$$\chi^2 = n \times \left[ \frac{(P_{\text{observado}} - P_{\text{esperado}})^2}{P_{\text{esperado}}} \right]$$

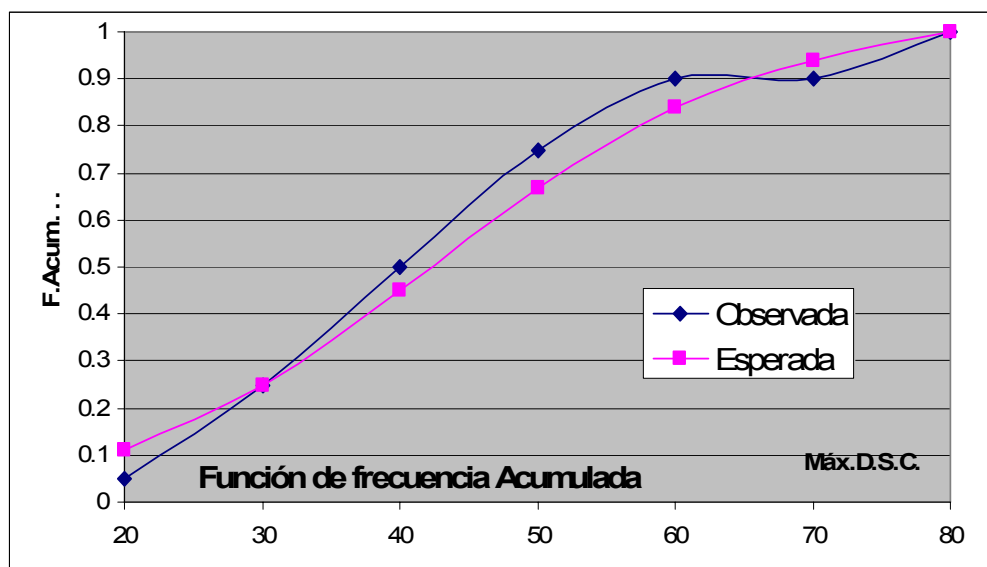
Para que el ajuste pueda ser aceptado, la sumatoria de todos los valores Chi-cuadrado no debe ser mayor al valor determinado en la tabla de Chi-cuadrado que se encuentra en los libros de estadística al igual que la tabla normal. Para la estación Barichara  $\chi^2 = 8,459$  y para la estación Santa Isabel  $\chi^2 = 4.031$ ; valores que son menores al valor límite de la tabla de Chi-cuadrado = 9.48 para un intervalo de confianza del 95% el cual se considera suficiente según los autores<sup>15</sup>; por tanto se concluye que el ajuste es bueno y se puede usar la distribución teórica propuesta para los análisis de probabilidad requeridos.

En las gráficas siguientes de frecuencia relativa se puede hacer una apreciación visual del ajuste propuesto.



Gráfica 7 Ajuste a la distribución Normal  
Datos Estación Barichara.

<sup>15</sup> \_ Ibidem.



Gráfica 8 Ajuste a la distribución Normal  
Datos Estación Santa Isabel.

Con este ajuste se halló la probabilidad de excedencia de cada periodo seco crítico como se muestra en el siguiente cuadro resumen:

Estación	D.S.C.*	P. Excedencia	Periodo de Retorno	
Barichara	77	0.05	20	Años
	>70	0.058	17,28	Años
	>60	0.141	7.092	Años
Santa Isabel	92	0.0476	21	Años
	>70	0.061	16.36	Años
	>60	0.162	6.173	Años

Cuadro 2.3.2 Periodos de Retorno

Estos periodos de retorno nos indican que se debe implementar una solución en el menor tiempo posible, puesto que es muy probable que ocurra una sequía mayor de dos meses en los próximos seis años.

Del análisis de la prueba de bondad de ajuste se puede ver que si bien la distribución normal se ajusta de manera aceptable, este se podría mejorar usando otras funciones de distribución de probabilidad teóricas.

\* D.S.C. Días secos consecutivos.

Las funciones Gumbel se desarrollaron para el análisis de los valores extremos como los caudales máximos o mínimos anuales y, como se pretende estudiar los máximos periodos de sequía, se propone un ajuste a dicha probabilidad para tratar de obtener un mejor ajuste de los datos, para hallar las probabilidades de excedencia de dichos periodos y así obtener una mejor aproximación en el periodo de retorno de estos eventos extremos.

Para realizar el ajuste a la distribución de Gumbel se halaron las siguientes constantes requeridas por dicha distribución:

Parametros Gumbel			
Barichara		Santa Isabel	
n	19	n	20
$\mu$	0.5236	$\mu$	0.524
$\delta$	1.0628	$\delta$	1.063
$\alpha$	0.0634	$\alpha$	0.059
$\beta$	33.69	$\beta$	33.33

### Definición de la función de Gumbel

Una variable aleatoria E sigue una distribución de probabilidad de Gumbel.

$$F(x) = e^{-e^{-\alpha(x-\beta)}} \quad \text{con } -\infty \leq x \leq \infty$$

Despejando x queda;

$$x = \beta - \frac{\ln(-\ln F(X))}{\alpha}$$

La función de densidad de probabilidad es entonces:

$$f(x) = \alpha e^{(-\alpha(x-\beta)-e^{-\alpha(x-\beta)})}$$

Donde x presenta el valor a asumir por la variable aleatoria, con  $\beta$  y  $\alpha$  parámetros de la función y e base de los logaritmos. Los parámetros  $\beta$  y  $\alpha$  se estiman:

$$\alpha = \frac{\sigma_y}{S} \quad \beta = \chi - \mu_y(S)$$

Donde:  $c$  = media aritmética de la serie de datos considerados.

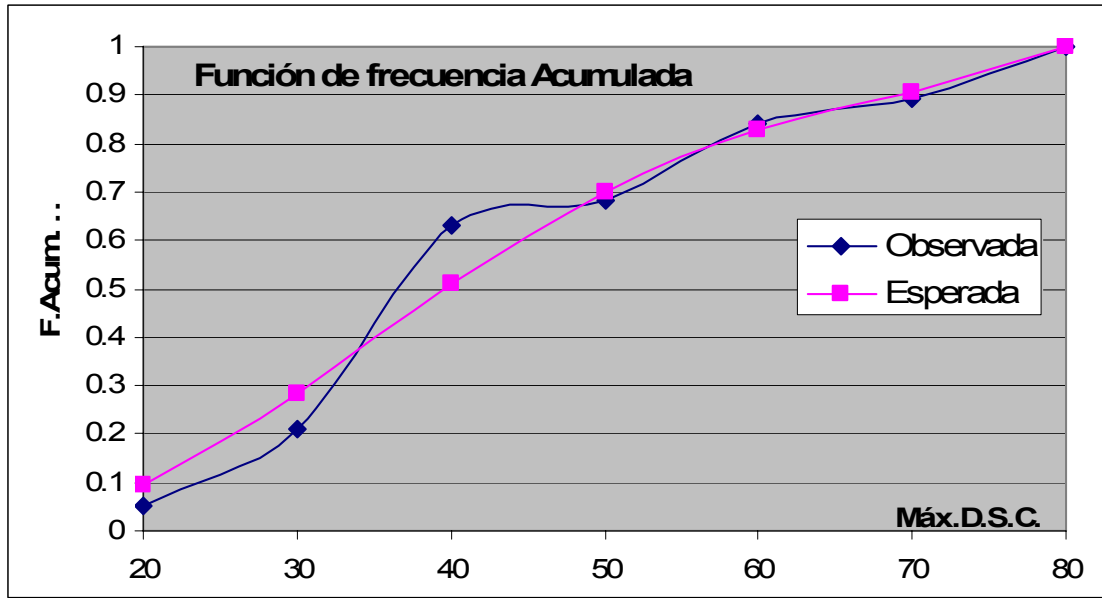
$S$  = desviación típica de la muestra de datos considerados y  $\mu_y$  y  $\sigma_y$  se muestran en las tablas en los textos de estadística.

Como ya se mencionó en ambos casos el ajuste se revisó con la prueba de bondad de Chi-cuadrado; esto es, que para que el ajuste pueda ser aceptado, la sumatoria de todos los valores Chi-cuadrado no debe ser mayor al valor determinado en la tabla de Chi-cuadrado = 9,48. Para la estación Barichara  $\chi^2 = 5.67$  y para la estación Santa Isabel  $\chi^2 = 3.07$ ; valores que son menores para un intervalo de confianza del 95% el cual se considera suficiente según los autores<sup>16</sup>; por tanto se concluye que el ajuste es mejor aún que el realizado utilizando la distribución normal y por eso se debe usar la distribución Gumbel para los análisis de probabilidad requeridos.

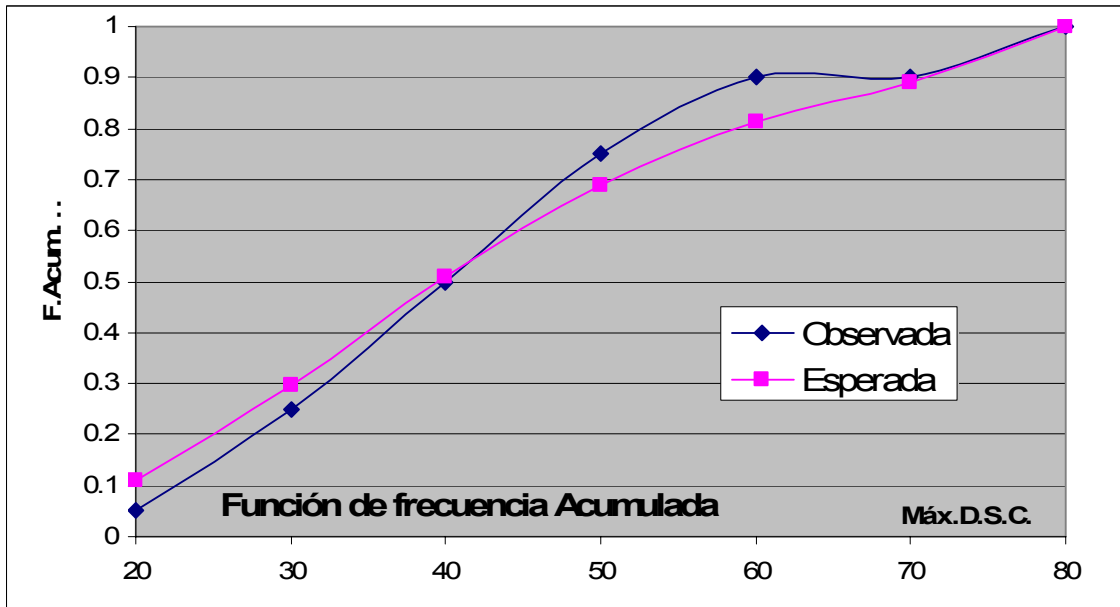
A continuación se muestran las respectivas gráficas de frecuencia relativa acumulada para cada estación, en las que se puede observar mejor el ajuste.

---

<sup>16</sup> Extraído de: Hidrología Aplicada/V. T. Chow, D. R. Maidment y L. W. Mays/McGraw-Hill/Bogotá Colombia 1994.



Gráfica 9 Ajuste a la distribución Gumbel  
Datos Estación Barichara.



Gráfica 10 Ajuste a la distribución Gumbel  
Datos Estación Santa Isabel.

Con este ajuste se halló la probabilidad de excedencia de cada periodo seco crítico como se muestra en el siguiente cuadro resumen:

Estación	D.S.C.	P. Excedencia	Periodo de Retorno	
Barichara	77	0.062	16.13	Años
	>70	0.095	10.51	Años
	>60	0.172	5.819	Años
Sta. Isabel	92	0.067	32.42	Años
	>70	0.108	9.225	Años
	>60	0.187	5.346	Años

Cuadro 2.3.3 Periodos de Retorno

Estos periodos de retorno nos indican que es muy probable que se deba afrontar una sequía mayor de dos meses en los próximos cinco años.

En los análisis realizados hasta este punto, se observa que los resultados obtenidos no difieren significativamente entre las dos estaciones utilizadas, sin embargo, la serie de datos de la estación Barichara, la cual pertenece a Coltabaco, presenta muchos datos faltantes, (como el caso del año 98 en el cual no hay datos); además el sitio donde la estación esta instalada tiene mucha vegetación alta; hay árboles y arbustos muy cerca del pluviómetro lo que podría alterar la información, por lo tanto se tomó la decisión de usar únicamente los datos de la estación Santa Isabel, la cual pertenece al IDEAM, y presenta una serie más constante para los análisis de los capítulos siguientes.

Como se mencionó antes, el ajuste a la función de distribución de probabilidad de Gumbel es de mejor calidad que el ajuste por la normal, por lo tanto ahora se estudiará detenidamente utilizando este ajuste, cuanto es el máximo de días secos consecutivos que se espera que se presenten, si hablamos de que el sistema de aprovechamiento de aguas lluvias que se pretende diseñar va a tener una vida útil de 25 años. Partiendo de esta vida útil de la obra, se utiliza el método de valores extremos de Gumbel, para determinar el periodo máximo esperado en los 25 años; utilizando la serie de valores máximos de la estación Santa Isabel de la figura 2.3.1.

Tomado los valores de  $\sigma_y = 1.0628$  y  $\mu_y = 0.5236$  obtenidos del libro Hidrología en la Ingeniería de German Monsalve<sup>17</sup>.

Obtenemos:

$$\alpha = \frac{\sigma_y}{S} \quad \beta = \chi - \mu_y(S)$$

<b>SUMA =</b>	<b>844.00</b>
<b>MEDIA =</b>	<b>42.20</b>
<b>DESVIACIÓN Est =</b>	<b>17.99883</b>
<b><math>\alpha</math> =</b>	<b>0.059048</b>
<b><math>\beta</math> =</b>	<b>33.33268</b>
<b>T=</b>	<b>25</b>
<b>P=</b>	<b>0.96</b>

$$P(X \leq x) = \frac{T-1}{T} = \frac{25-1}{25}$$

Remplazando los datos en la fórmula de Gumbel se obtiene que si el periodo de retorno de la obra es de 25 años; tiempo estimado por criterios usuales como: vida útil de la obra, tipo de estructura, facilidad de reparación y ampliación de la obra; se espera que ocurra un periodo máximo de 88 días secos.

Tomando un periodo de retorno de 50 años, obtenemos una probabilidad de excedencia de 0,98 y se espera que ocurra un periodo máximo de 99 días sin lluvia.

---

<sup>17</sup> German Monsalve Saenz/Hidrología en la Ingeniería/Escuela Colombiana de Ingeniería/Bogotá 2004.

### **3. Captación de Aguas Lluvias de Techos**

Hoy en día, el papel del agua lluvia en las ciudades se está replanteando. En efecto, el agua lluvia está pasando de considerarse un desecho, del cual hay que deshacerse lo antes posible, a considerarse un recurso, principalmente en zonas donde el agua es escasa. La recolección de aguas lluvias para usos domésticos representa una práctica interesante, tanto económicamente para el consumidor como ambientalmente para el planeta, ayudando además a lograr el verdadero Desarrollo Sostenible de la humanidad. La precipitación representa un valioso recurso natural que se debe aprovechar; es una de las opciones más reales para proporcionar agua a aquellos que no cuentan con este recurso.

En este proyecto se propone la implementación de sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias proveniente de los techos de las viviendas y demás edificaciones, para almacenarla en tanques u otro tipo de depósitos, para su posterior uso en las épocas de sequía, en las que el sistema de acueducto no tiene suficiente agua para abastecer satisfactoriamente la población. Este tipo de sistemas, más conocidos como SCAPT (sistema de captación de agua pluvial en techos), son muy difundidos en muchos lugares del mundo con alta o media precipitación y en donde no se dispone de agua en cantidad y calidad necesaria para consumo humano.

Los Sistemas de Captación y Aprovechamiento del Agua de Lluvia para uso doméstico y consumo humano a nivel de familia y comunitario, representan una solución para abastecer a las numerosas poblaciones rurales, y urbanas que sufren la carencia de este vital líquido. Se trata de un recurso que debe ser considerado dentro del abanico de opciones planeadas para el mejoramiento o ejecución de un sistema de suministro de agua en una comunidad, puesto que es un medio fácil, ecológico y económico de obtener agua; ya que un milímetro de lluvia equivale a un litro por metro cuadrado.

Dependiendo de las condiciones ambientales y locales, el agua lluvia puede considerarse para proporcionar un sistema de abasto complementario al sistema entubado, o único. Se puede implementar en zonas urbanas, urbano-marginales y rurales con dificultades de acceso a fuentes superficiales o subterráneas. También en comunidades con condiciones técnicas desfavorables para la construcción de sistemas entubados a gravedad o por bombeo. La aplicación debe considerar condiciones sociales y culturales que garanticen el uso de este tipo de técnica. En muchos países en desarrollo, el agua lluvia es usada para reemplazar sistemas entubados de suministro de agua, como es el caso de la Bocana municipio cercano a Buenaventura en el Valle del Cauca, donde el 83% de las viviendas utiliza agua lluvia como fuente de suministro en combinación con otras fuentes; a pesar de las grandes inversiones realizadas en el sistema entubado, éste es usado solo por el 10% de la comunidad<sup>18</sup>. El agua lluvia puede ser usada para proveer agua de mejor calidad por largas temporadas de tiempo. Esta técnica es una opción factible para el mejoramiento de la calidad de vida de millones de personas que actualmente padecen de serios problemas de cantidad y calidad en el abastecimiento de agua.

El diseño de un sistema de captación de agua lluvia con fines de abastecimiento, debe estar basado en los datos de precipitación de por lo menos diez (10) años<sup>19</sup>; las series con las que se trabajó en este proyecto contenían los valores de precipitación diaria de diecinueve (19) años en el caso de la estación Barichara, debido a que no hay registro del año 1998; y de veinte (20) años en la estación Santa Isabel, por lo que se considera que la información es suficiente para lograr una buena estimación de los volúmenes de agua utilizable en épocas secas.

---

<sup>18</sup> Uso del agua lluvia en la Bocana – Buenaventura - Sánchez LD y Caicedo E.Y. /Conferencia internacional usos múltiples de agua: para la vida y el desarrollo sostenible/Instituto CINARA Universidad del Valle 2003

<sup>19</sup> Especificaciones Técnicas Captación de Agua de Lluvia Para Consumo Humano/Organización Mundial de la Salud/Lima 2003.

### **3.1 Componentes del Sistema**

El sistema de captación de agua de lluvia en techos está compuesto principalmente de los siguientes elementos: a) captación; b) recolección y conducción; y c) almacenamiento; de los cuales hablaremos detalladamente en los subcapítulos siguientes.

#### **3.1.1 Captación**

La captación está conformada por el techo de la edificación, el mismo que deberá contar con pendiente y superficie adecuadas para que facilite el escurrimiento del agua de lluvia hacia el sistema de recolección. En el cálculo se debe considerar la proyección horizontal del techo. Los materiales empleados en la construcción de los techos en el municipio de Barichara con los cuales se pretende la captación de agua de lluvia van desde las láminas onduladas metálicas, tejas de arcilla, hasta paja, etc. Sin embargo en la zona urbana predominan las cubiertas en teja de barro por normas urbanísticas, las cuales tienen buena superficie y pendiente para este fin.

Uno de los factores más influyentes en la capacidad de captación del sistema es el área de techo disponible. Para ello se tomaron en cuenta aspectos como la arquitectura del pueblo, en donde se tienen en promedio áreas de techos relativamente grandes, las cuales en su mayoría varían entre  $90\text{m}^2$  y  $250\text{m}^2$ ; teniendo en cuenta que existen algunas casonas que superan ampliamente los  $250\text{m}^2$  de área cubierta; por lo cual se evaluaron diferentes áreas de techo para así ver como altera el diseño con respecto al volumen del tanque, teniendo en cuenta que el volumen de aprovechable depende de las precipitaciones y del área disponible de techo para captarlas.

#### **3.1.2 Recolección y Conducción**

El sistema de recolección y conducción se refiere al conjunto de canaletas o tuberías de diferentes materiales y formas que conducen el agua lluvia del área de captación al sistema de almacenamiento a través de bajantes de

PVC o metálicos. Las canaletas metálicas son las que tienen mayor duración y menos mantenimiento necesitan, sin embargo son costosas; debe evitarse que el agua no se contamine con compuestos orgánicos o inorgánicos; por lo que se recomienda se coloquen mallas (Ver figura 3.1.2.1) que detengan basura, sólidos y hojas, para evitar la obstrucción del flujo en la tubería de conducción; así mismo, realizar en los techos labores de limpieza al inicio de la época de lluvias.

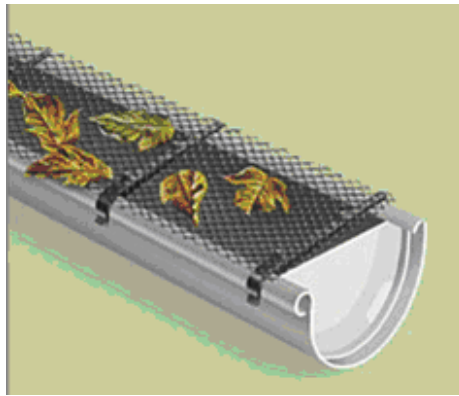


Figura. 11 Canaletas con Malla.

De igual forma se recomienda instalar estas rejillas en la tubería de salida de agua de la conducción al tanque y en la boquilla de entrada a la bomba y a su vez en el sistema de desagües de excedencias, para así evitar la presencia de roedores dentro del sistema. En la figura 3.1.2.2 se muestra el diagrama completo de un sistema de colección y trampa de sólidos.

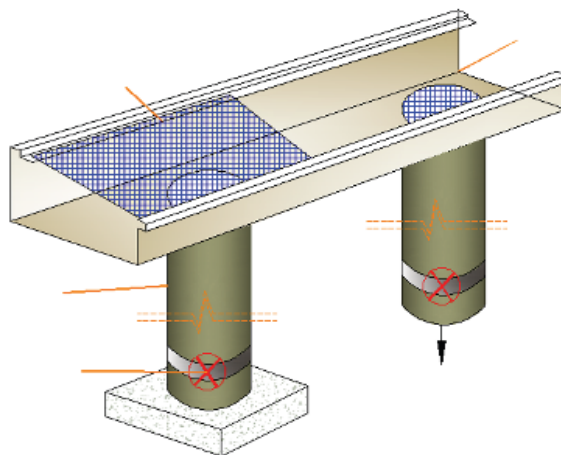


Figura 12 Diagrama del sistema de colección y trampa de sólidos.

### 3.1.3 Sistema de Almacenamiento

Es la obra destinada a almacenar el volumen de agua lluvia necesaria para el consumo diario, en especial durante el período de sequía. La unidad de almacenamiento debe ser duradera y al efecto debe cumplir con las especificaciones siguientes:

- Impermeable para evitar la pérdida de agua por goteo o transpiración,
- Con tapa para impedir el ingreso de polvo, insectos y de la luz solar,
- Disponer de una escotilla con tapa sanitaria lo suficientemente grande como para permitir el ingreso de una persona para la limpieza y reparaciones necesarias,
- La entrada y el rebose deben contar con mallas para evitar el ingreso de insectos y animales.
- Dotado de dispositivos para el retiro de agua y el drenaje.

### 3.2 Dotación

Para el análisis del diseño o comportamiento del tanque para una vivienda se trabaja con una demanda constante por falta de información (registros de consumo del acueducto). Se tomó como demanda la dotación neta (L/hab.-día), la cantidad mínima de agua requerida para satisfacer las necesidades básicas de un habitante sin considerar las pérdidas que ocurren en el sistema del acueducto, pues en nuestro caso al tratarse de un sistema aislado y pequeño no se presentan pérdidas.

En aquellos casos en los que exista una carencia notable del recurso agua, puede tenerse dotaciones netas mínimas o inferiores a las establecidas en la tabla B.2.2. Del Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico. RAS-2000<sup>20</sup>. Para el caso se tomó una dotación neta de 100 L/hab.- durante las 24 horas, dotación mínima con un nivel de

---

<sup>20</sup> Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico. RAS-2000. Sistema de Acueducto Pagina B.34.

complejidad bajo. En Casos de tener aparatos de bajo consumo de agua, hay que tenerlos en cuenta, con el fin de determinar el posible ahorro y el efecto de estos instrumentos en la dotación neta y además se debe incluir el riego de jardines en caso de existir.

Para reducir el nivel de consumo a este valor, se debería indudablemente implementar tecnologías adecuadas de consumo de agua, como sanitarios de menor capacidad, válvulas temporizadoras para lavado de manos, restricción de tiempos en duchas, recirculación del agua gris o jabonosa, el no lavado de carros o andenes con agua potable, el ahorro en los procesos industriales, entre otros. Se aclara, que para hacer posible todo esto debe lograrse en un contexto de cultura ciudadana, que de manera obligada debería comenzar desde este instante.

### **3.3 Dimensionamiento de Tanques de Almacenamiento**

El tanque de almacenamiento de agua sirve para aprovechar las temporadas de lluvia para posteriormente usarlas en las épocas de sequía y mitigar los efectos negativos de esta.

Cuando se desea hacer una estimación del volumen del tanque se pueden usar el métodos conocido como algoritmo de picos secuentes<sup>21</sup>; con el cual se puede hacer un balance entre la oferta y la demanda, a partir de los datos existentes, teniendo en cuenta que entre mayor sea el lapso de registros, mas confiable será la estimación del mismo. Dentro de la estimación del volumen solo se tendrá en cuenta la precipitación sobre los techos o el techo a evaluar, pero en casos más severos también se podrían adicionar las precipitaciones sobre zonas duras como patios y terrazas, que puedan ser recolectadas y conducidas al sistema; sin embargo estas no tienen las mismas condiciones de limpieza que las provenientes de las superficies de cubierta.

---

<sup>21</sup> Fundamentos de Hidrología de Superficie/Francisco Javier Aparicio M./Editorial Limusa/México D.F. 1999 / Ver anexo 1 aplicación del método.

En la estimación del volumen por pico secuente dado a una serie de volúmenes de entrada (Área del techo aportante x precipitación) y volúmenes de salida (Demanda), el algoritmo del pico secuente consiste en:

- a) Calcular la entrada neta al tanque y la entrada neta acumulada.
- b) Encontrar el primer pico (valor máximo) de las entradas netas acumuladas P1.
- c) Localizar el pico secuente, P2, esto es, el siguiente pico mayor que P1.
- d) Entre el primer par de picos P1 y P2, hallar el valor mas bajo; por lo tanto la diferencia entre el valor mas bajo y P1 equivale al volumen 1
- e) Este procedimiento se repite cuantos picos se hallen en el registro de datos.

La capacidad útil mínima necesaria para que no se tenga déficit en el periodo de los datos es el valor máximo de los volúmenes hallados por la diferencia entre  $(P_j - T_j)$ .

Cuando se tiene alguna libertad para variar las demandas u ofertas, es posible estimar un volumen hidrológicamente “adecuado” mediante una curva que relacione la capacidad útil del tanque con la demanda o con la oferta. Las consideraciones anteriores están basadas en factores hidroclimaticos y la decisión final tendrá, desde luego, que tomarse en cuenta otras consideraciones como las económicas, sociales, disposición de área de techo de las viviendas, etc.

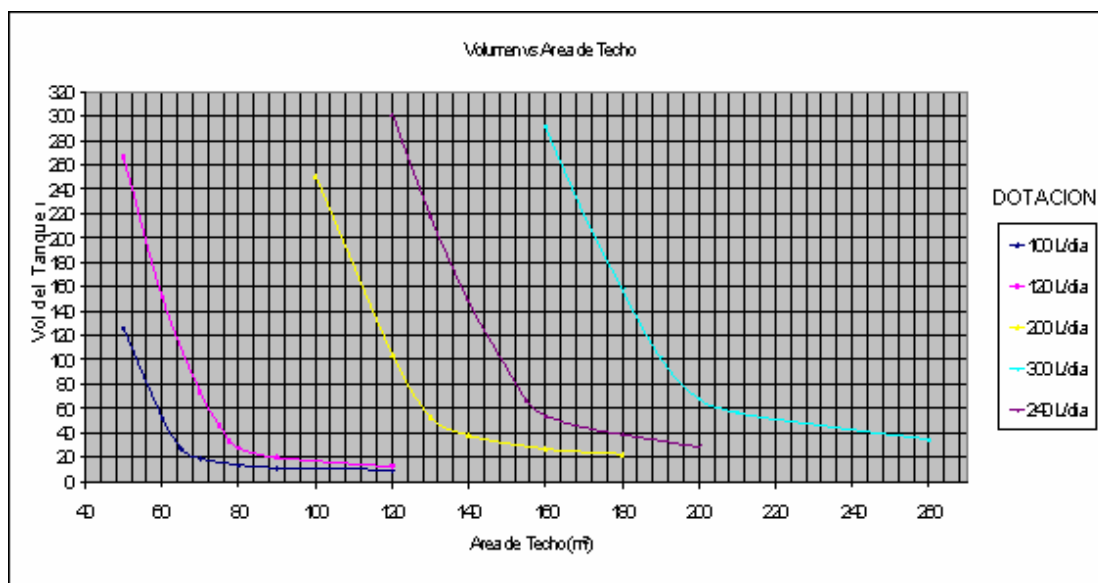
Cabe resaltar que el volumen útil así calculado, no garantiza que haya algún déficit durante la operación del tanque, ya que es posible la ocurrencia de varios días secos durante su vida útil; a su vez la presencia de varios días húmedos, ocasionando una gran cantidad de desperdicios; dado que nunca

se repite exactamente igual los eventos durante su vida útil y el análisis del sistema se hace suponiendo que al inicio el tanque esta lleno.

En el funcionamiento del tanque de almacenamiento de agua, el intervalo de tiempo generalmente se toma  $\Delta t =$  un mes y puede analizarse más detalladamente reduciendo el intervalo de tiempo  $\Delta t =$  una semana o un día.

Como nuestra gran preocupación son los grandes periodos de sequías, analizaremos el comportamiento del tanque en periodos mensuales ( $\Delta t =$  un mes) y en las situaciones criticas para mayor facilidad visual de la variación del nivel de agua en el tanque, tomaremos un intervalo de tiempo diario ( $\Delta t =$  un día).

Volumen de tanques - áreas de techo requeridos por Pico Secuente para una dotación dada.



Gráfica 3.3.1 Curvas de Área de Techo Vs. Volumen de Tanque para una Dotación dada, ver anexo 1.

A continuación se anexan los cuadros con los valores que originaron las curvas mostradas en el gráfico anterior.

Consumo = 100 L / día	
Area de techo (m <sup>2</sup> )	Volumen del tanque (m <sup>3</sup> )
50	125,7
60	52,26
65	26,55
70	18,85
80	13,4
90	11,16
120	9,48

Consumo = 200 L / día	
Area de techo (m <sup>2</sup> )	Volumen del tanque (m <sup>3</sup> )
100	251,4
120	104,52
130	53,1
140	37,7
160	26,8
180	22,32

Consumo = 240 L / día	
Area de techo (m <sup>2</sup> )	Volumen del tanque (m <sup>3</sup> )
120	301,68
130	218,26
140	147,54
150	92,25
155	66,45
160	54,08
170	44,15
180	38,7
200	28,6

Consumo = 300 L / día	
Area de techo (m <sup>2</sup> )	Volumen del tanque (m <sup>3</sup> )
160	291,24
170	218,54
180	156,78
190	101,49
200	67,6
210	56,55
220	51,1
260	34,3

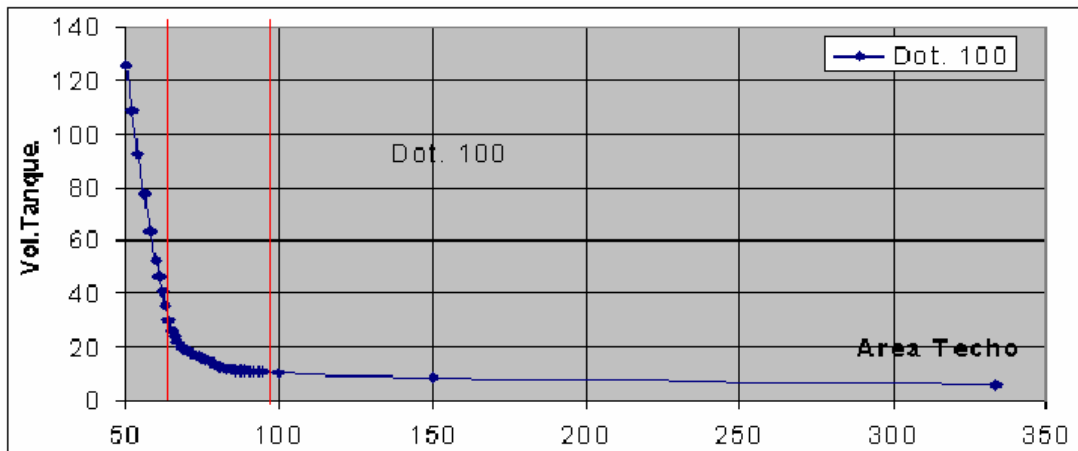
#### 4. Análisis de Resultados

A partir de las curvas de áreas de techo versus volúmenes de tanque con una dotación determinada (gráfica 3.3.1), se encontró que mediante el análisis de pico secuente, aparentemente se podrían obtener varias combinaciones de área y tanque para obtener la misma dotación. No obstante, no todas las posibilidades de combinación de variables para una dotación determinada, se pueden considerar como reales, teniendo en cuenta que el análisis de pico secuente se hace partiendo del supuesto, que el tanque al inicio del análisis se encuentra lleno. Ahora si consideramos el lado izquierdo de las curvas, (tomando como centro de estas los puntos de cambio de curvatura) a medida que el área de techo se aproxima a cero, el volumen del tanque tiende a un valor finito que equivale al volumen de agua acumulada necesaria, para obtener la dotación constante durante todo el periodo de análisis sin que vuelva a entrar agua al sistema, lo que significa que al final del periodo de estudio el tanque se encontrará vacío, puesto que el comportamiento del nivel de agua contenida siempre será descendiente.

Ahora si consideramos el lado derecho de las curvas en mención, se observa que cuando el área de techo tiende a infinito, el volumen del tanque tiende a un valor constante, que equivale al volumen de agua mínimo necesario para obtener la dotación entre cada intervalo de lluvia, y el tanque permanecerá la mayor parte del tiempo lleno. Esto no es aplicable en la realidad puesto que las áreas de techo son limitadas y se estaría desperdiciando agua puesto que el tanque se rebosaría con algunos eventos de lluvia.

#### 4.1 Análisis de valores extremos de la Curva Área de Techo Vs Volumen de Tanque

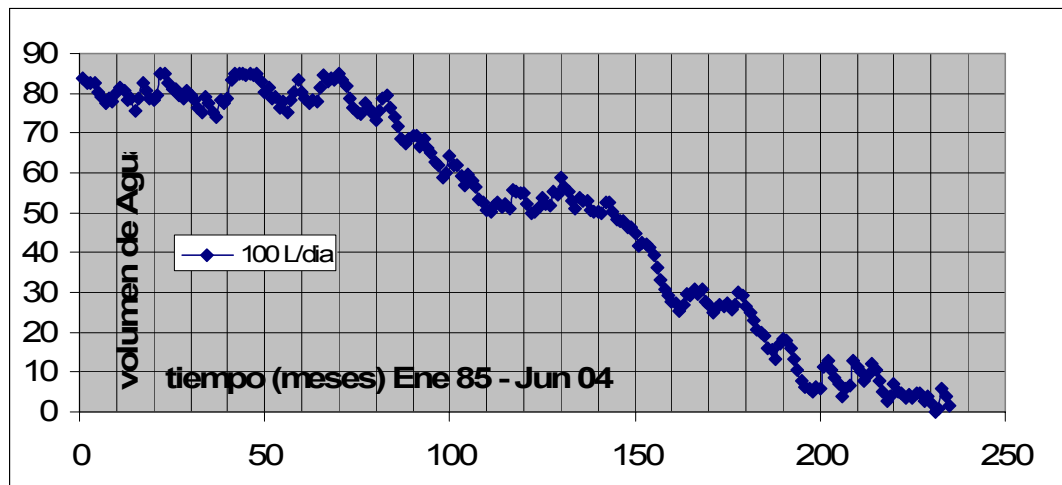
Para ilustrar de mejor forma lo expuesto anteriormente se toma como ejemplo la curva área-volumen para una dotación de 100Lt/día como se muestra a continuación.



Gráfica 13 Curva de área de techo versus volumen de tanque  
Para una dotación de 100L/día.

En la gráfica anterior, la región entre las dos líneas rojas comprende los puntos con cambios de comportamiento drásticos, los cuales se analizarán con más detalle en el siguiente subcapítulo.

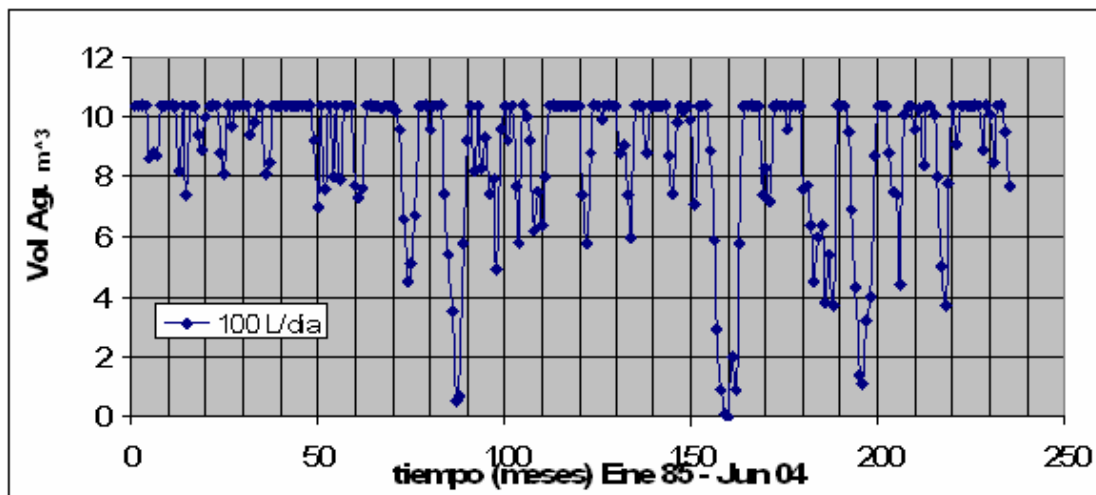
Como se mencionó antes, si se observa la gráfica a la izquierda de esta región, se obtiene que para un área de techo que se aproxima a cero, se debería tener un tanque que contenga  $705\text{m}^3$  de agua para obtener una dotación de 100litros diarios los 7050 días que tiene el periodo de estudio. El comportamiento del tanque es decreciente puesto que el área de techo no es insuficiente para volver a llenarlo, como se muestra en la siguiente figura:



Gráfica 14 Comportamiento del nivel de agua en el tanque en el transcurso del periodo de estudio  
 Área = 55m<sup>2</sup>, Tanque = 85m<sup>3</sup>.

Si se observa la gráfica (figura 4.1) al lado derecho de la región entre las líneas rojas, se obtiene que, cuando el área de techo tiende a infinito, el volumen del tanque se vuelve constante con un valor mínimo de 6m<sup>3</sup>; lo que equivale a 2 meses de servicio de agua para esta dotación; esto se debe a que el análisis es mensual y no diario; teniendo un máximo de 2 meses secos consecutivos. Esto no quiere decir, que el numero de días secos consecutivos sean 60; en los conteos diarios se hallo un periodo de días secos de 92 días; los 32 días secos faltantes se encuentran distribuidos en 2 meses más, antes y después de los dos meses secos seguidos, pero los otros días de esos meses (meses antes y después de los 2 meses secos) tienen lluvias, esto hace que aquellos meses posean un valor de precipitación y en la evaluación no se tomen como meses sin lluvias.

Como se ilustra en la figura, con tan solo un área de techo de 100m<sup>2</sup> para una dotación de 100Lt/día, el volumen de agua en el tanque la mayoría del tiempo permanece lleno y es posible que el tanque se esté rebosando cuando hay varios días de lluvia seguidos; esto quiere decir que con esa área se podría obtener una dotación mayor, si se dispone un tanque más grande.

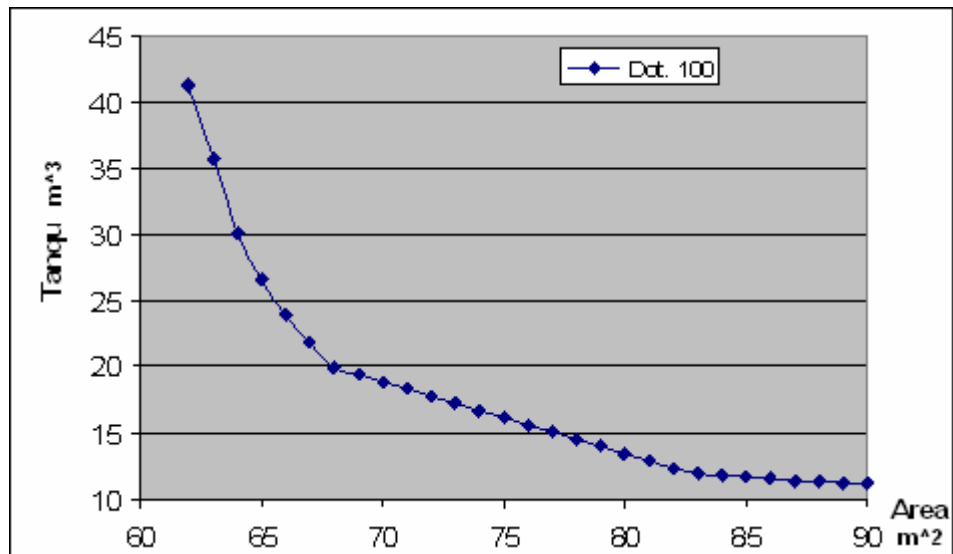


Gráfica 15 Comportamiento del nivel de agua en el tanque  
 Durante el transcurso del periodo de estudio  
 Área = 100m<sup>2</sup>, Tanque = 10.4m<sup>3</sup>.

#### 4.2 Análisis detallado del Cambio de Comportamiento en la Curva Área Versus Volumen de Tanque

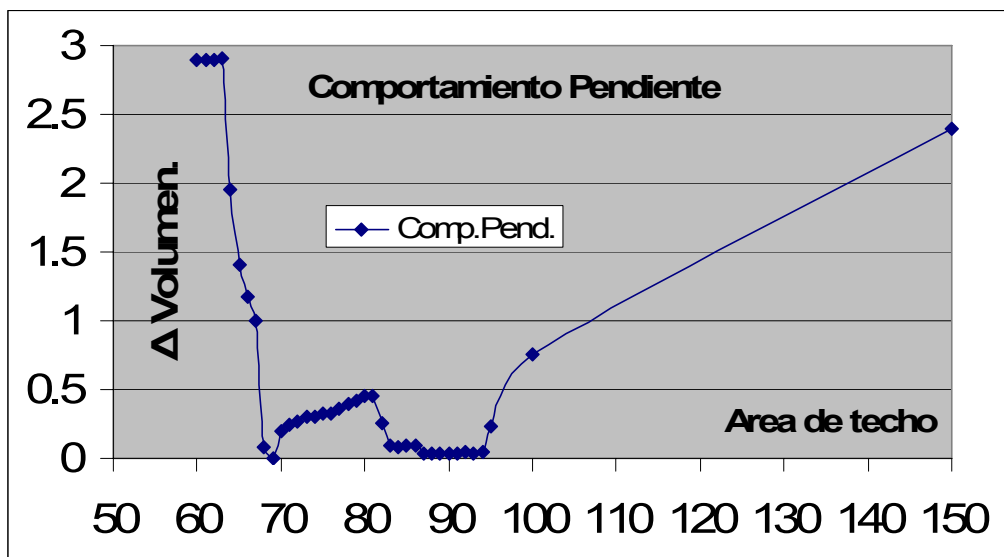
En concordancia con las anteriores consideraciones, es evidente que la combinación de variables, área de techo con un volumen de tanque para una dotación determinada, que mejor funcionamiento tiene; en cuanto a captar la mayor cantidad de agua posible con un tanque de tamaño adecuado para esto, estará en la región donde la curva cambia su comportamiento, como se muestra en la figura 4.1 la región dentro de las líneas rojas.

Si se observa esta región con más detalle se observa que no es una curva con un comportamiento constante como se ve en la figura 4.4; (la cual es una ampliación de la región en cuestión de la figura 4.1) sino que presenta varios segmentos con un comportamiento diferente; lo cual dificulta saber cual de estos puntos, es verdaderamente el par de variables que se podría considerar como el par área-volumen “óptimo” para la dotación dada.



Gráfica 16 Ampliación curva Área-Volumen figura 4.1  
Región de mayor curvatura

No obstante, tras haber hecho varios análisis de las curvas y del método utilizado se propuso hacer una gráfica de área de techo versus diferencia entre volúmenes de tanque requerido\*, para comparar los cambios de pendiente de la curva, grafica 4.4 entre estos segmentos.



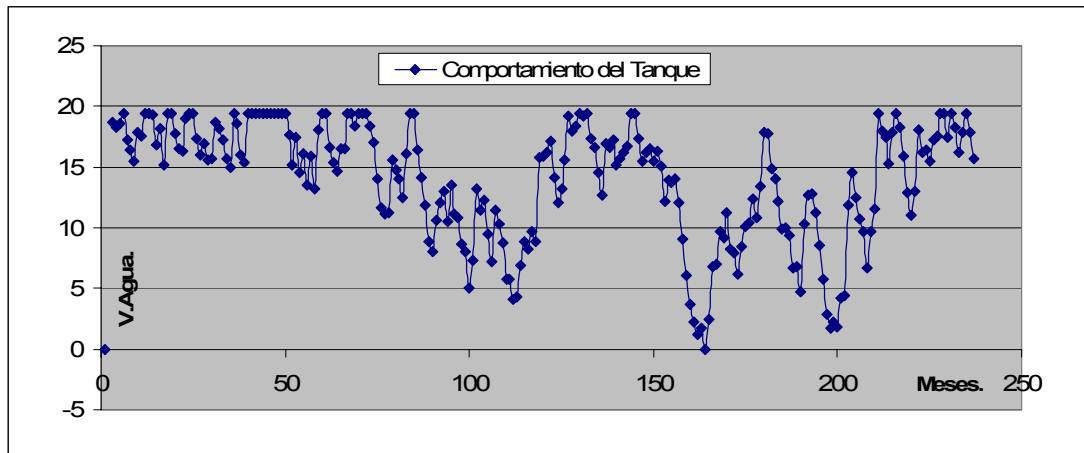
Gráfica 17. Área vs. Δ Volumen.

\* Volumen de tanque necesario según el análisis de pico secuento.

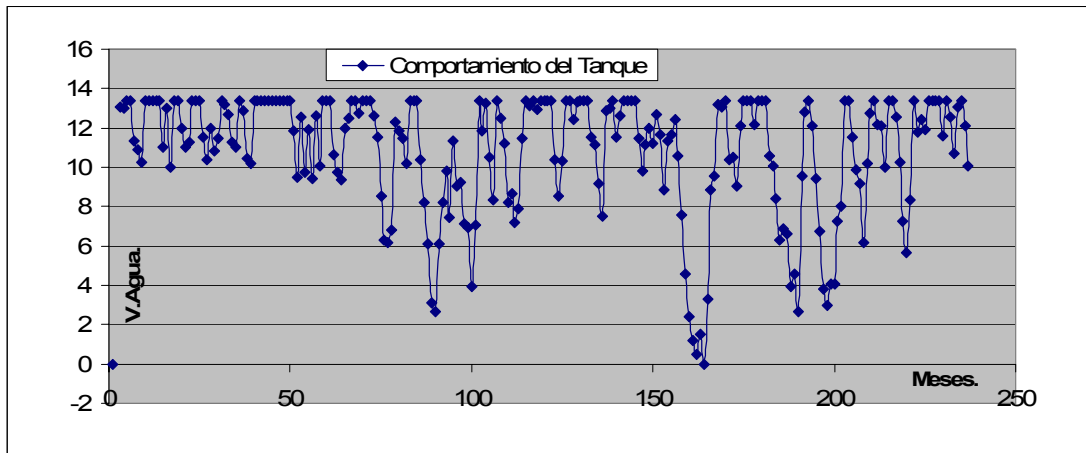
#### 4.2.1 Análisis de Valores Pico de la Curva Área - $\Delta$ Volumen (Gráfica 4.5)

En la gráfica anterior se observan claramente tres puntos picos que marcan un cambio de comportamiento en la curva, el primero de estos puntos corresponde al área de techo de  $69\text{m}^2$ , el segundo al área de  $80\text{m}^2$ , y el último para un área de  $94\text{m}^2$ . Los puntos para el área de  $69\text{m}^2$  y  $94\text{m}^2$ , en la curva de área-volumen, son los puntos donde comienza y termina, la región donde la curva cambia de comportamiento. De las observaciones realizadas en el proceso de construcción de las gráficas, se concluyó que el par área-volumen “óptimo” es alguno de los tres puntos que se observan en la gráfica de área- $\Delta$  de Volumen, por lo que se decidió graficar el comportamiento del sistema en el análisis de pico secuento para cada uno de los tres puntos, y así obtener más información que permita identificar cual es la combinación de variables que mejor funciona.

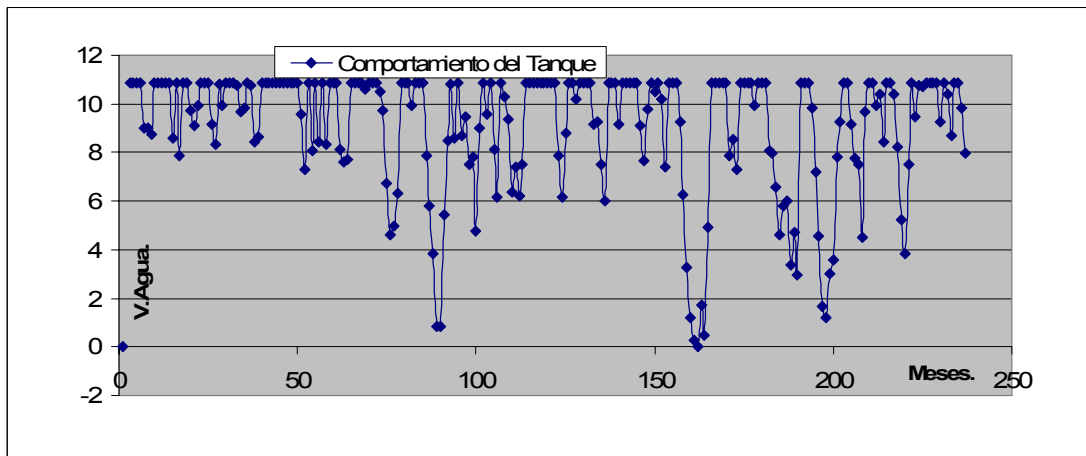
Gráficas de Comportamiento del sistema Área de techo – Volumen de tanque



Gráfica 18 Comportamiento del nivel de agua en el tanque  
Durante el transcurso del periodo de estudio  
Área =  $69\text{m}^2$ , Tanque =  $19.4\text{m}^3$ .



Gráfica 19 Comportamiento del nivel de agua en el tanque  
 Durante el transcurso del periodo de estudio  
 Área = 80m<sup>2</sup>, Tanque = 13.4m<sup>3</sup>.



Gráfica 20 Comportamiento del nivel de agua en el tanque  
 Durante el transcurso del periodo de estudio  
 Área = 94m<sup>2</sup>, Tanque = 10.86m<sup>3</sup>.

De las gráficas anteriores se puede observar que el par área-volumen para obtener una dotación de 100Lt/día que mejor comportamiento tiene\*, es el de 80m<sup>2</sup> de techo con un tanque de 13.4m<sup>3</sup>\*\*, porque su gráfica muestra menos picos en los que el tanque se encuentra casi vacío, puntos en los que el sistema podría fallar. Sin embargo, para verificar esto se hizo un análisis de fallas del sistema en escala temporal diaria, puesto que en escala mensual

\* Entiéndase que el mejor comportamiento del sistema es aquel que en el periodo de tiempo analizado produce el menor número de fallas.

\*\* Valores encontrados mediante el análisis de las precipitaciones y el comportamiento del tanque por el método de pico secuente. Véase Anexo 1.

no es apreciable cuantas veces el tanque se encuentra vacío. Dicho análisis se muestra en el siguiente cuadro resumen.

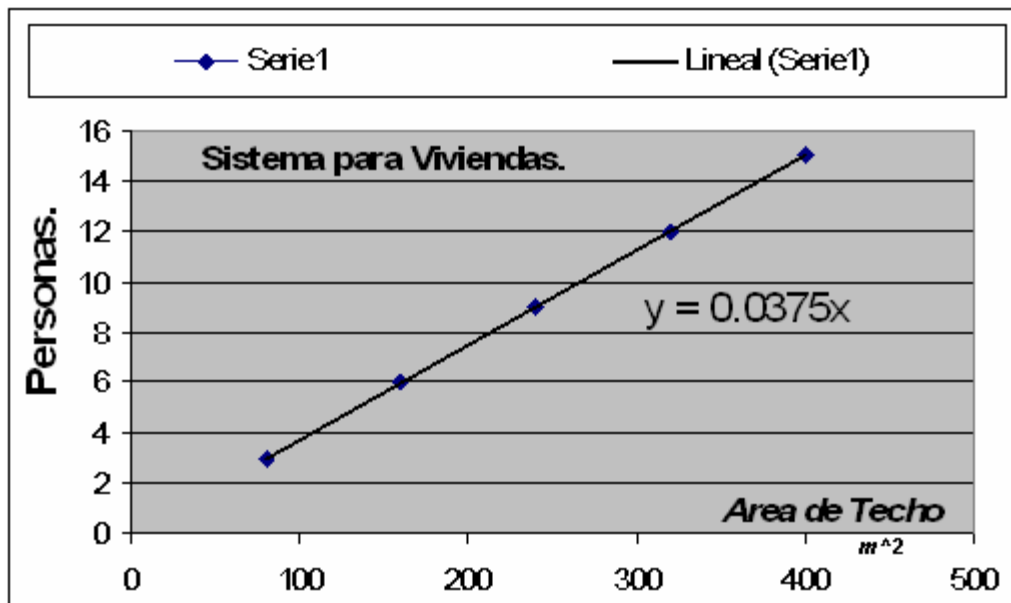
Área techo m <sup>2</sup>	Tanque m <sup>3</sup>	Fallas
69	19.4	23
80	13.4	8
94	10.86	22

Cuadro 4.1 Número de fallas

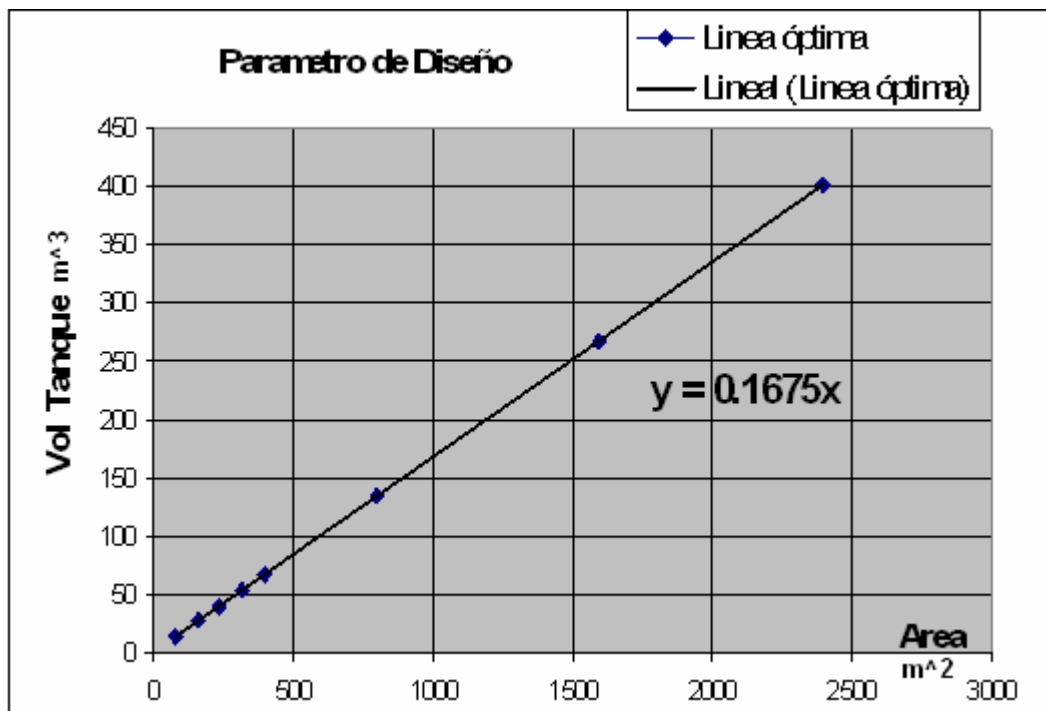
El cuadro de fallas muestra claramente que el par Área de techo-Volumen de tanque, para un sistema con capacidad de proveer una dotación de 100L/Día que mejor funcionamiento tiene en el periodo analizado, es el de 80m<sup>2</sup> de techo con un tanque de 13.4m<sup>3</sup> de capacidad, presentando menos fallas diarias en el periodo de análisis de 20 años; 8 fallas en 7050 días, 0.11% es el porcentaje de fallas para el periodo analizado.

### 4.3 Sistema Propuesto

A partir del análisis anterior se puede concluir que por cada 80m<sup>2</sup> de techo se puede captar una cantidad de agua suficiente para proveer a 3 personas durante 8 horas, para lo cual se necesitaría un tanque con una capacidad mínima de 13.4m<sup>3</sup>. Con base en esta conclusión se construyó una gráfica de área de techo versus número de personas servidas con una dotación de 8 horas diarias los 365 días del año con un porcentaje de fallas de 0.11%; y otra gráfica de área e techo versus volumen de tanque mínimo necesario para almacenar y aprovechar al máximo la cantidad agua que es posible captar con el área dada; las cuales sirven de guía para construir un sistema ajustado a las condiciones particulares de cada caso. *“Vale la pena aclarar que estas gráficas solo sirven para la región de Barichara, puesto que se hicieron a partir del régimen de lluvias de la zona”.*



Gráfica 21 Área-Personas servidas con una dotación diaria de 8 horas



Gráfica 22 Área-Volumen de tanque necesario

Con las anteriores gráficas se puede hacer el diseño para una vivienda típica ubicada en la zona de Barichara.

A manera de ejemplo; supóngase una casa con una cubierta de  $140\text{m}^2$ . De la gráfica de la figura 4.8 podemos saber que con esta área se puede proveer a 5 personas con una dotación de 8 horas diarias los 365 días del año; y de la gráfica de la figura 4.9, que para esto el sistema requiere de un tanque con una capacidad mínima de almacenamiento de  $23,45\text{m}^3$ , y el sistema tendrá un porcentaje de fallas de 0.11%.

Para cada caso en particular se deben estudiar que tipo de tanque se puede instalar (tanque enterrado de concreto, tanques plásticos, etc.), evaluando disponibilidad de espacio y factores económicos entre otros. El sistema propuesto consta básicamente de canaletas de captación, tuberías para conducir por gravedad el agua hacia el tanque, depósito de agua (tanque) y una bomba para llevar el agua por otra tubería hacia un tanque elevado que distribuye el agua para toda la vivienda (generalmente las casas ya tienen este tanque elevado).

#### **4.4 Presupuesto**

El sistema propuesto consta esencialmente de los elementos ya mencionados, de los cuales el más costoso es el tanque; el cual puede construirse en concreto y hacerse enterrado o a nivel del suelo, o se podría comprar tanques comerciales plásticos para una solución más económica. Escoger tanques plásticos o de concreto depende en gran medida del capital disponible para la obra y del espacio disponible para su instalación.

En este orden de ideas, se presentan dos presupuestos para un sistema con capacidad para abastecer a tres personas 8 horas al día, (el cual necesita  $80\text{m}^2$  de techo y un tanque de  $13.4\text{m}^3$ , como ya se dijo); un presupuesto con un tanque enterrado de concreto, el cual es el más adecuado para la zona urbana por condiciones de espacio; y otro con tanques plásticos comerciales los cuales no se pueden enterrar, que puede ser fácilmente implementado en las viviendas rurales que no tienen tantas restricciones de espacio.

El costo total del sistema, depende mucho de las condiciones particulares de cada vivienda, por tanto aquí solo se presenta el presupuesto del tanque y la bomba, los cuales no varían significativamente de una edificación a otra, siempre y cuando se hable de la misma área de techo.

Tipo de tanque	Valor
Tanque enterrado de concreto.	\$ 6,311,128
7 Tanques plásticos de 2000L.	\$ 2,527,000
Bomba de 1HP Para 1 pulgada.	\$ 120,000
Instalaciones eléctricas	\$ 50,000
<b>Costo incluida la bomba</b>	<b>Total</b>
<b>Sistema con tanque enterrado</b>	<b>\$ 6,481,128</b>
<b>Sistema con tanques plásticos</b>	<b>\$ 2,697,000</b>

Cuadro 4.2.1 Costos del Sistema<sup>22</sup>

<sup>22</sup> Lista de Precios Ferretería Al Día Julio de 2009

## Conclusiones

- En Barichara la precipitación anual es de 1090 mm, siendo esta el principal recurso hídrico para su abastecimiento; en promedio 274 días del año no llueve (75%) y se encontraron periodos secos de hasta 90 días (Días consecutivos sin lluvia) valor que corresponde a un  $T_r = 32$  años.
- Se determinó que por cada  $80\text{m}^2$  de techo, se necesita un tanque con un volumen mínimo de  $13.4\text{m}^3$ , con los cuales se puede abastecer a 3 personas por vivienda con una dotación de 8 horas al día los 365 días del año; estos cálculos se realizaron a partir de la serie de precipitaciones diarias y anuales de la estación Santa Isabel (IDEAM) de 20 años.
- A partir del análisis de lluvias mensuales utilizando el método de Pico Secuente; el cual relaciona la oferta y la demanda, se encontró que existe un par óptimo de área de techo y volumen de tanque, para obtener una dotación determinada con un mínimo de fallas de aproximadamente 0.11% de días al año; fallas que se analizaron utilizando la serie de datos de lluvia diaria.
- El sistema diseñado de captación de aguas lluvias en el Municipio de Barichara tiene un valor aproximado por vivienda de \$3 millones, si se utilizan tanques plásticos de 2000 litros para el almacenamiento y de aproximadamente \$7 millones si se utiliza tanque enterrado. En las zonas rurales este sistema resulta muy útil por la facilidad de implementación y el espacio para la localización de los tanques. Sin embargo para familias de escasos recursos debe buscarse el apoyo institucional para su financiación.
- El diseño de un sistema de aprovechamiento de aguas lluvias es exclusivo para cada región, y aunque el promedio anual sea similar en dos zonas determinadas, los sistemas pueden diferir uno del otro dependiendo de la intensidad de las lluvias.

## Recomendaciones

- En consciencia de las dificultades y características que presenta la zona por déficit de agua, es importante que se implementen políticas tendientes a fomentar una cultura de manejo eficiente del agua en la población; lo cual se traduce en medidas como el mejoramiento de las redes de distribución para disminuir las pérdidas y el cambio de inodoros de gran consumo por descarga, por nuevos inodoros ahorradores de agua, entre otras.
- El diseño del sistema propuesto se hizo con base en la información pluviométrica de la estación Santa Isabel del IDEAM (ubicada a las afueras Barichara), es de suma importancia la instalación de más pluviómetros en la zona de Barichara y Villanueva, siendo la precipitación el principal recurso hídrico para su abastecimiento así como pluviógrafos que permitan apreciar mejor la intensidad de las lluvias, puesto que esta es un factor que incide directamente en la problemática de la región.
- Se recomienda la búsqueda de fuentes alternativas de abastecimiento, como el uso de aguas subterráneas en la región.
- Se recomienda fomentar el cambio de inodoros convencionales por sanitarios eficientes con descargas de 6 litros, los cuales le representarían un ahorro al acueducto de aproximadamente  $53\text{m}^3$  diarios, teniendo en cuenta que por cada vivienda de las 1100 suscritas al servicio del acueducto, se ahorrarían 48 litros diarios en promedio.

## **Bibliografía**

- Balance Hídrico a Largo Plazo e Información Hidro Climática en la Mesa de Barichara/Diana H. Caballero y Juan C. Pérez/Ingeominas-UIS /Bucaramanga 2007.
- Fundamentos de Hidrología de Superficie/Francisco Javier Aparicio Mijares/Editorial Limusa/México D.F. 1999.
- Hidrología Aplicada/V. T. Chow, D. R. Maidment y L. W. Mays/McGraw-Hill/Bogotá Colombia 1994.
- German Monsalve Sáenz/Hidrología en la Ingeniería/Escuela Colombiana de Ingeniería/Bogotá 2004.
- Uso del agua lluvia en la Bocana – Buenaventura - Sánchez LD y Caicedo E.Y. /Conferencia internacional usos múltiples de agua: para la vida y el desarrollo sostenible/Instituto CINARA Universidad del Valle 2003.
- Especificaciones Técnicas Captación de Agua de Lluvia Para Consumo Humano/Organización Mundial de la Salud/Lima 2003.
- Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico. RAS-2000.

## Anexo 1

### Volumen de tanque análisis por el método de pico secuente.

El método de pico secuente aplicado para encontrar el volumen de tanque necesario para un área de techo\* y una dotación determinada; se divide en dos partes. Inicialmente se aplica el método de pico secuente como se indica en el capítulo 3.3 dimensionamiento de tanques, para hacer un estimativo de la demanda acumulada suponiendo un volumen de almacenamiento igual a cero.

Una vez estimado este máximo se toma como punto de partida para hacer el análisis, tomando un volumen de almacenamiento igual al volumen máximo de demanda acumulada, y se aplica el mismo procedimiento como se explico en el capítulo 3.3.

Se debe tener en cuenta que el método de pico secuente relaciona dos variables principales que son la oferta, (la cual depende del área de captación), y la demanda, con el fin de obtener un volumen de almacenamiento acorde con dichas variables; por tanto es un modelo matemático que relaciona tres variables.

Acorde con lo anterior se propuso tomar una dotación fija para aplicar el método y encontrar los pares de variables área de techo – volumen de tanque que permiten obtener dicha dotación matemáticamente hablando, teniendo en cuenta que el análisis asume que el tanque inicialmente se encuentra lleno. De estos análisis se hallaron las curvas del capítulo 3.3, para varias dotaciones fijas, las cuales son múltiplos entre si, puesto que las curvas tienen el mismo comportamiento, ya que obedecen al mismo modelo matemático.

Como ya se dijo e método de pico secuente relaciona la oferta y la demanda, y el tanque obedecerá a la relación entre estas dos variables, por lo que el volumen del tanque obedecerá no solo a un máximo periodo de días sin lluvia sino que también tendrá en cuenta periodos secos consecutivos como se muestra a continuación en las tablas en las cuales se registra el análisis de pico secuente realizado para una dotación de 100L diarios.

---

\* Área de captación necesaria para una dotación determinada como se muestra en la sección 4.2 de manera que se tenga el menor número de fallas diarias en el sistema.

Análisis método de pico secuento, volumen de almacenamiento cero.

Var.	valor	Unidades
Dotación	100	L/(día)
Captación	80	m2.

<b>Volumen Util</b>	<b>0 m3</b>
---------------------	-------------

mes	Prec. Mes mm	Vol. M3 Aporte	Vol. M3 Demanda	VA - VD	$\Sigma$ VA - VD	Vol. Embalse	Vol Exced.
Ene-85	33	2.64	3	-0.36	-0.36	-0.36	0.00
Feb-85	37	2.96	3	-0.04	-0.40	-0.40	0.00
Mar-85	49	3.92	3	0.92	0.52	0.00	0.52
Abr-85	56	4.48	3	1.48	2.00	0.00	1.48
May-85	12	0.96	3	-2.04	-0.04	-2.04	0.00
Jun-85	32	2.56	3	-0.44	-0.48	-2.48	0.00
Jul-85	29	2.32	3	-0.68	-1.16	-3.16	0.00
Ago-85	78	6.24	3	3.24	2.08	0.00	0.08
Sep-85	39	3.12	3	0.12	2.20	0.00	0.12
Oct-85	97	7.76	3	4.76	6.96	0.00	4.76
Nov-85	74	5.92	3	2.92	9.88	0.00	2.92
Dic-85	42	3.36	3	0.36	10.24	0.00	0.36
Ene-86	8	0.64	3	-2.36	7.88	-2.36	0.00
Feb-86	62	4.96	3	1.96	9.84	-0.40	0.00
Mar-86	0	0	3	-3.00	6.84	-3.40	0.00
Abr-86	110	8.8	3	5.80	12.64	0.00	2.40
May-86	124	9.92	3	6.92	19.56	0.00	6.92
Jun-86	20	1.6	3	-1.40	18.16	-1.40	0.00
Jul-86	25	2	3	-1.00	17.16	-2.40	0.00
Ago-86	41	3.28	3	0.28	17.44	-2.12	0.00
Sep-86	82	6.56	3	3.56	21.00	0.00	1.44
Oct-86	213	17.04	3	14.04	35.04	0.00	14.04
Nov-86	93	7.44	3	4.44	39.48	0.00	4.44
Dic-86	14	1.12	3	-1.88	37.60	-1.88	0.00
Ene-87	23	1.84	3	-1.16	36.44	-3.04	0.00
Feb-87	58	4.64	3	1.64	38.08	-1.40	0.00
Mar-87	23	1.84	3	-1.16	36.92	-2.56	0.00
Abr-87	45	3.6	3	0.60	37.52	-1.96	0.00
May-87	88	7.04	3	4.04	41.56	0.00	2.08

mes	Prec. Mes mm	Vol. M3 Aporte	Vol. M3 Demanda	VA - VD	$\Sigma$ VA - VD	Vol. Embalse	Vol Exced.
May-87	88	7.04	3	4.04	41.56	0.00	2.08
Jun-87	35	2.8	3	-0.20	41.36	-0.20	0.00
Jul-87	31	2.48	3	-0.52	40.84	-0.72	0.00
Ago-87	20	1.6	3	-1.40	39.44	-2.12	0.00
Sep-87	34	2.72	3	-0.28	39.16	-2.40	0.00
Oct-87	120	9.6	3	6.60	45.76	0.00	4.20
Nov-87	31	2.48	3	-0.52	45.24	-0.52	0.00
Dic-87	7	0.56	3	-2.44	42.80	-2.96	0.00
Ene-88	34	2.72	3	-0.28	42.52	-3.24	0.00
Feb-88	132	10.56	3	7.56	50.08	0.00	4.32
Mar-88	46	3.68	3	0.68	50.76	0.00	0.68
Abr-88	72	5.76	3	2.76	53.52	0.00	2.76
May-88	142	11.36	3	8.36	61.88	0.00	8.36
Jun-88	90	7.2	3	4.20	66.08	0.00	4.20
Jul-88	79	6.32	3	3.32	69.40	0.00	3.32
Ago-88	82	6.56	3	3.56	72.96	0.00	3.56
Sep-88	48	3.84	3	0.84	73.80	0.00	0.84
Oct-88	168	13.44	3	10.44	84.24	0.00	10.44
Nov-88	50	4	3	1.00	85.24	0.00	1.00
Dic-88	60	4.8	3	1.80	87.04	0.00	1.80
Ene-89	18	1.44	3	-1.56	85.48	-1.56	0.00
Feb-89	8	0.64	3	-2.36	83.12	-3.92	0.00
Mar-89	76	6.08	3	3.08	86.20	-0.84	0.00
Abr-89	2	0.16	3	-2.84	83.36	-3.68	0.00
May-89	65	5.2	3	2.20	85.56	-1.48	0.00
Jun-89	6	0.48	3	-2.52	83.04	-4.00	0.00
Jul-89	78	6.24	3	3.24	86.28	-0.76	0.00
Ago-89	5	0.4	3	-2.60	83.68	-3.36	0.00
Sep-89	114	9.12	3	6.12	89.80	0.00	2.76
Oct-89	92	7.36	3	4.36	94.16	0.00	4.36
Nov-89	105	8.4	3	5.40	99.56	0.00	5.40
Dic-89	3	0.24	3	-2.76	96.80	-2.76	0.00
Ene-90	26	2.08	3	-0.92	95.88	-3.68	0.00
Feb-90	33	2.64	3	-0.36	95.52	-4.04	0.00
Mar-90	70	5.6	3	2.60	98.12	-1.44	0.00

mes	Prec. Mes mm	Vol. M3 Aporte	Vol. M3 Demanda	VA - VD	Σ VA - VD	Vol. Embalse	Vol Exced.
Mar-90	70	5.6	3	2.60	98.12	-1.44	0.00
Abr-90	44	3.52	3	0.52	98.64	-0.92	0.00
May-90	121	9.68	3	6.68	105.32	0.00	5.76
Jun-90	109	8.72	3	5.72	111.04	0.00	5.72
Jul-90	29	2.32	3	-0.68	110.36	-0.68	0.00
Ago-90	66	5.28	3	2.28	112.64	0.00	1.60
Sep-90	47	3.76	3	0.76	113.40	0.00	0.76
Oct-90	121	9.68	3	6.68	120.08	0.00	6.68
Nov-90	28	2.24	3	-0.76	119.32	-0.76	0.00
Dic-90	24	1.92	3	-1.08	118.24	-1.84	0.00
Ene-91	0	0	3	-3.00	115.24	-4.84	0.00
Feb-91	9	0.72	3	-2.28	112.96	-7.12	0.00
Mar-91	36	2.88	3	-0.12	112.84	-7.24	0.00
Abr-91	46	3.68	3	0.68	113.52	-6.56	0.00
May-91	106	8.48	3	5.48	119.00	-1.08	0.00
Jun-91	32	2.56	3	-0.44	118.56	-1.52	0.00
Jul-91	32	2.56	3	-0.44	118.12	-1.96	0.00
Ago-91	22	1.76	3	-1.24	116.88	-3.20	0.00
Sep-91	96	7.68	3	4.68	121.56	0.00	1.48
Oct-91	111	8.88	3	5.88	127.44	0.00	5.88
Nov-91	66	5.28	3	2.28	129.72	0.00	2.28
Dic-91	0	0	3	-3.00	126.72	-3.00	0.00
Ene-92	10	0.8	3	-2.20	124.52	-5.20	0.00
Feb-92	11	0.88	3	-2.12	122.40	-7.32	0.00
Mar-92	0	0	3	-3.00	119.40	-10.32	0.00
Abr-92	32	2.56	3	-0.44	118.96	-10.76	0.00
May-92	81	6.48	3	3.48	122.44	-7.28	0.00
Jun-92	64	5.12	3	2.12	124.56	-5.16	0.00
Jul-92	57	4.56	3	1.56	126.12	-3.60	0.00
Ago-92	8	0.64	3	-2.36	123.76	-5.96	0.00
Sep-92	86	6.88	3	3.88	127.64	-2.08	0.00
Oct-92	9	0.72	3	-2.28	125.36	-4.36	0.00
Nov-92	40	3.2	3	0.20	125.56	-4.16	0.00
Dic-92	11	0.88	3	-2.12	123.44	-6.28	0.00
Ene-93	35	2.8	3	-0.20	123.24	-6.48	0.00
Feb-93	0	0	3	-3.00	120.24	-9.48	0.00
Mar-93	77	6.16	3	3.16	123.40	-6.32	0.00

mes	Prec. Mes mm	Vol. M3 Aporte	Vol. M3 Demanda	VA - VD	Σ VA - VD	Vol. Embalse	Vol Exced.
Mar-93	77	6.16	3	3.16	123.40	-6.32	0.00
Abr-93	129	10.32	3	7.32	130.72	0.00	1.00
May-93	18	1.44	3	-1.56	129.16	-1.56	0.00
Jun-93	55	4.4	3	1.40	130.56	-0.16	0.00
Jul-93	3	0.24	3	-2.76	127.80	-2.92	0.00
Ago-93	11	0.88	3	-2.12	125.68	-5.04	0.00
Sep-93	105	8.4	3	5.40	131.08	0.00	0.36
Oct-93	26	2.08	3	-0.92	130.16	-0.92	0.00
Nov-93	22	1.76	3	-1.24	128.92	-2.16	0.00
Dic-93	0	0	3	-3.00	125.92	-5.16	0.00
Ene-94	43	3.44	3	0.44	126.36	-4.72	0.00
Feb-94	19	1.52	3	-1.48	124.88	-6.20	0.00
Mar-94	46	3.68	3	0.68	125.56	-5.52	0.00
Abr-94	82	6.56	3	3.56	129.12	-1.96	0.00
May-94	72	5.76	3	2.76	131.88	0.00	0.80
Jun-94	34	2.72	3	-0.28	131.60	-0.28	0.00
Jul-94	64	5.12	3	2.12	133.72	0.00	1.84
Ago-94	32	2.56	3	-0.44	133.28	-0.44	0.00
Sep-94	144	11.52	3	8.52	141.80	0.00	8.08
Oct-94	45	3.6	3	0.60	142.40	0.00	0.60
Nov-94	48	3.84	3	0.84	143.24	0.00	0.84
Dic-94	57	4.56	3	1.56	144.80	0.00	1.56
Ene-95	0	0	3	-3.00	141.80	-3.00	0.00
Feb-95	14	1.12	3	-1.88	139.92	-4.88	0.00
Mar-95	60	4.8	3	1.80	141.72	-3.08	0.00
Abr-95	78	6.24	3	3.24	144.96	0.00	0.16
May-95	96	7.68	3	4.68	149.64	0.00	4.68
Jun-95	25	2	3	-1.00	148.64	-1.00	0.00
Jul-95	49	3.92	3	0.92	149.56	-0.08	0.00
Ago-95	120	9.6	3	6.60	156.16	0.00	6.52
Sep-95	41	3.28	3	0.28	156.44	0.00	0.28
Oct-95	132	10.56	3	7.56	164.00	0.00	7.56
Nov-95	14	1.12	3	-1.88	162.12	-1.88	0.00
Dic-95	33	2.64	3	-0.36	161.76	-2.24	0.00
Ene-96	13	1.04	3	-1.96	159.80	-4.20	0.00
Feb-96	16	1.28	3	-1.72	158.08	-5.92	0.00
Mar-96	105	8.4	3	5.40	163.48	-0.52	0.00

mes	Prec. Mes mm	Vol. M3 Aporte	Vol. M3 Demanda	VA - VD	Σ VA - VD	Vol. Embalse	Vol Exced.
Mar-96	105	8.4	3	5.40	163.48	-0.52	0.00
Abr-96	39	3.12	3	0.12	163.60	-0.40	0.00
May-96	53	4.24	3	1.24	164.84	0.00	0.84
Jun-96	14	1.12	3	-1.88	162.96	-1.88	0.00
Jul-96	51	4.08	3	1.08	164.04	-0.80	0.00
Ago-96	51	4.08	3	1.08	165.12	0.00	0.28
Sep-96	51	4.08	3	1.08	166.20	0.00	1.08
Oct-96	100	8	3	5.00	171.20	0.00	5.00
Nov-96	53	4.24	3	1.24	172.44	0.00	1.24
Dic-96	13	1.04	3	-1.96	170.48	-1.96	0.00
Ene-97	17	1.36	3	-1.64	168.84	-3.60	0.00
Feb-97	54	4.32	3	1.32	170.16	-2.28	0.00
Mar-97	48	3.84	3	0.84	171.00	-1.44	0.00
Abr-97	28	2.24	3	-0.76	170.24	-2.20	0.00
May-97	56	4.48	3	1.48	171.72	-0.72	0.00
Jun-97	25	2	3	-1.00	170.72	-1.72	0.00
Jul-97	2	0.16	3	-2.84	167.88	-4.56	0.00
Ago-97	69	5.52	3	2.52	170.40	-2.04	0.00
Sep-97	41	3.28	3	0.28	170.68	-1.76	0.00
Oct-97	47	3.76	3	0.76	171.44	-1.00	0.00
Nov-97	15	1.2	3	-1.80	169.64	-2.80	0.00
Dic-97	0	0	3	-3.00	166.64	-5.80	0.00
Ene-98	0	0	3	-3.00	163.64	-8.80	0.00
Feb-98	10	0.8	3	-2.20	161.44	-11.00	0.00
Mar-98	22	1.76	3	-1.24	160.20	-12.24	0.00
Abr-98	29	2.32	3	-0.68	159.52	-12.92	0.00
May-98	50	4	3	1.00	160.52	-11.92	0.00
Jun-98	19	1.52	3	-1.48	159.04	<b>-13.40</b>	0.00
Jul-98	79	6.32	3	3.32	162.36	-10.08	0.00
Ago-98	107	8.56	3	5.56	167.92	-4.52	0.00
Sep-98	46	3.68	3	0.68	168.60	-3.84	0.00
Oct-98	83	6.64	3	3.64	172.24	-0.20	0.00
Nov-98	36	2.88	3	-0.12	172.12	-0.32	0.00
Dic-98	72	5.76	3	2.76	174.88	0.00	2.44
Ene-99	0	0	3	-3.00	171.88	-3.00	0.00
Feb-99	39	3.12	3	0.12	172.00	-2.88	0.00
Mar-99	19	1.52	3	-1.48	170.52	-4.36	0.00

mes	Prec. Mes mm	Vol. M3 Aporte	Vol. M3 Demanda	VA - VD	$\Sigma$ VA - VD	Vol. Embalse	Vol Exced.
Mar-99	19	1.52	3	-1.48	170.52	-4.36	0.00
Abr-99	76	6.08	3	3.08	173.60	-1.28	0.00
May-99	67	5.36	3	2.36	175.96	0.00	1.08
Jun-99	49	3.92	3	0.92	176.88	0.00	0.92
Jul-99	71	5.68	3	2.68	179.56	0.00	2.68
Ago-99	22	1.76	3	-1.24	178.32	-1.24	0.00
Sep-99	81	6.48	3	3.48	181.80	0.00	2.24
Oct-99	108	8.64	3	5.64	187.44	0.00	5.64
Nov-99	41	3.28	3	0.28	187.72	0.00	0.28
Dic-99	2	0.16	3	-2.84	184.88	-2.84	0.00
Ene-00	31	2.48	3	-0.52	184.36	-3.36	0.00
Feb-00	17	1.36	3	-1.64	182.72	-5.00	0.00
Mar-00	11	0.88	3	-2.12	180.60	-7.12	0.00
Abr-00	45	3.6	3	0.60	181.20	-6.52	0.00
May-00	34	2.72	3	-0.28	180.92	-6.80	0.00
Jun-00	4	0.32	3	-2.68	178.24	-9.48	0.00
Jul-00	46	3.68	3	0.68	178.92	-8.80	0.00
Ago-00	13	1.04	3	-1.96	176.96	-10.76	0.00
Sep-00	124	9.92	3	6.92	183.88	-3.84	0.00
Oct-00	78	6.24	3	3.24	187.12	-0.60	0.00
Nov-00	45	3.6	3	0.60	187.72	0.00	0.00
Dic-00	21	1.68	3	-1.32	186.40	-1.32	0.00
Ene-01	4	0.32	3	-2.68	183.72	-4.00	0.00
Feb-01	4	0.32	3	-2.68	181.04	-6.68	0.00
Mar-01	1	0.08	3	-2.92	178.12	-9.60	0.00
Abr-01	27	2.16	3	-0.84	177.28	-10.44	0.00
May-01	51	4.08	3	1.08	178.36	-9.36	0.00
Jun-01	38	3.04	3	0.04	178.40	-9.32	0.00
Jul-01	77	6.16	3	3.16	181.56	-6.16	0.00
Ago-01	47	3.76	3	0.76	182.32	-5.40	0.00
Sep-01	151	12.08	3	9.08	191.40	0.00	3.68
Oct-01	83	6.64	3	3.64	195.04	0.00	3.64
Nov-01	14	1.12	3	-1.88	193.16	-1.88	0.00
Dic-01	17	1.36	3	-1.64	191.52	-3.52	0.00
Ene-02	29	2.32	3	-0.68	190.84	-4.20	0.00
Feb-02	0	0	3	-3.00	187.84	-7.20	0.00
Mar-02	87	6.96	3	3.96	191.80	-3.24	0.00

mes	Prec. Mes mm	Vol. M3 Aporte	Vol. M3 Demanda	VA - VD	$\Sigma$ VA - VD	Vol. Embalse	Vol Exced.
Mar-02	87	6.96	3	3.96	191.80	-3.24	0.00
Abr-02	70	5.6	3	2.60	194.40	-0.64	0.00
May-02	169	13.52	3	10.52	204.92	0.00	9.88
Jun-02	22	1.76	3	-1.24	203.68	-1.24	0.00
Jul-02	37	2.96	3	-0.04	203.64	-1.28	0.00
Ago-02	11	0.88	3	-2.12	201.52	-3.40	0.00
Sep-02	81	6.48	3	3.48	205.00	0.00	0.08
Oct-02	103	8.24	3	5.24	210.24	0.00	5.24
Nov-02	27	2.16	3	-0.84	209.40	-0.84	0.00
Dic-02	9	0.72	3	-2.28	207.12	-3.12	0.00
Ene-03	0	0	3	-3.00	204.12	-6.12	0.00
Feb-03	17	1.36	3	-1.64	202.48	-7.76	0.00
Mar-03	71	5.68	3	2.68	205.16	-5.08	0.00
Abr-03	117	9.36	3	6.36	211.52	0.00	1.28
May-03	17	1.36	3	-1.64	209.88	-1.64	0.00
Jun-03	46	3.68	3	0.68	210.56	-0.96	0.00
Jul-03	31	2.48	3	-0.52	210.04	-1.48	0.00
Ago-03	69	5.52	3	2.52	212.56	0.00	1.04
Sep-03	47	3.76	3	0.76	213.32	0.00	0.76
Oct-03	75	6	3	3.00	216.32	0.00	3.00
Nov-03	54	4.32	3	1.32	217.64	0.00	1.32
Dic-03	15	1.2	3	-1.80	215.84	-1.80	0.00
Ene-04	75	6	3	3.00	218.84	0.00	1.20
Feb-04	27	2.16	3	-0.84	218.00	-0.84	0.00
Mar-04	14	1.12	3	-1.88	216.12	-2.72	0.00
Abr-04	67	5.36	3	2.36	218.48	-0.36	0.00
May-04	150	12	3	9.00	227.48	0.00	8.64
Jun-04	21	1.68	3	-1.32	226.16	-1.32	0.00
Jul-04	12	0.96	3	-2.04	224.12	-3.36	0.00

Análisis por el método de pico secuento. Volumen de almacenamiento igual al volumen máximo acumulado de demanda del análisis anterior.  $V = 13.4\text{m}^3$ .

Var.	valor	Unidades
Dotación	100	L/(día)
Captación	80	m2.

<b>Volumen Util</b>	<b>13.4 m3</b>
---------------------	----------------

mes	Prec. Mes mm	Vol. M3 Aporte	Vol. M3 Demanda	VA - VD	$\Sigma$ VA - VD	Vol. Embalse	Vol Exced.
Ene-85	33	2.64	3	-0.36	-0.36	13.04	0.00
Feb-85	37	2.96	3	-0.04	-0.40	13.00	0.00
Mar-85	49	3.92	3	0.92	0.52	13.40	0.52
Abr-85	56	4.48	3	1.48	2.00	13.40	1.48
May-85	12	0.96	3	-2.04	-0.04	11.36	0.00
Jun-85	32	2.56	3	-0.44	-0.48	10.92	0.00
Jul-85	29	2.32	3	-0.68	-1.16	10.24	0.00
Ago-85	78	6.24	3	3.24	2.08	13.40	0.08
Sep-85	39	3.12	3	0.12	2.20	13.40	0.12
Oct-85	97	7.76	3	4.76	6.96	13.40	4.76
Nov-85	74	5.92	3	2.92	9.88	13.40	2.92
Dic-85	42	3.36	3	0.36	10.24	13.40	0.36
Ene-86	8	0.64	3	-2.36	7.88	11.04	0.00
Feb-86	62	4.96	3	1.96	9.84	13.00	0.00
Mar-86	0	0	3	-3.00	6.84	10.00	0.00
Abr-86	110	8.8	3	5.80	12.64	13.40	2.40
May-86	124	9.92	3	6.92	19.56	13.40	6.92
Jun-86	20	1.6	3	-1.40	18.16	12.00	0.00
Jul-86	25	2	3	-1.00	17.16	11.00	0.00
Ago-86	41	3.28	3	0.28	17.44	11.28	0.00
Sep-86	82	6.56	3	3.56	21.00	13.40	1.44
Oct-86	213	17.04	3	14.04	35.04	13.40	14.04
Nov-86	93	7.44	3	4.44	39.48	13.40	4.44
Dic-86	14	1.12	3	-1.88	37.60	11.52	0.00
Ene-87	23	1.84	3	-1.16	36.44	10.36	0.00
Feb-87	58	4.64	3	1.64	38.08	12.00	0.00
Mar-87	23	1.84	3	-1.16	36.92	10.84	0.00
Abr-87	45	3.6	3	0.60	37.52	11.44	0.00
May-87	88	7.04	3	4.04	41.56	13.40	2.08

mes	Prec. Mes mm	Vol. M3 Aporte	Vol. M3 Demanda	VA - VD	Σ VA - VD	Vol. Embalse	Vol Exced.
May-87	88	7.04	3	4.04	41.56	13.40	2.08
Jun-87	35	2.8	3	-0.20	41.36	13.20	0.00
Jul-87	31	2.48	3	-0.52	40.84	12.68	0.00
Ago-87	20	1.6	3	-1.40	39.44	11.28	0.00
Sep-87	34	2.72	3	-0.28	39.16	11.00	0.00
Oct-87	120	9.6	3	6.60	45.76	13.40	4.20
Nov-87	31	2.48	3	-0.52	45.24	12.88	0.00
Dic-87	7	0.56	3	-2.44	42.80	10.44	0.00
Ene-88	34	2.72	3	-0.28	42.52	10.16	0.00
Feb-88	132	10.56	3	7.56	50.08	13.40	4.32
Mar-88	46	3.68	3	0.68	50.76	13.40	0.68
Abr-88	72	5.76	3	2.76	53.52	13.40	2.76
May-88	142	11.36	3	8.36	61.88	13.40	8.36
Jun-88	90	7.2	3	4.20	66.08	13.40	4.20
Jul-88	79	6.32	3	3.32	69.40	13.40	3.32
Ago-88	82	6.56	3	3.56	72.96	13.40	3.56
Sep-88	48	3.84	3	0.84	73.80	13.40	0.84
Oct-88	168	13.44	3	10.44	84.24	13.40	10.44
Nov-88	50	4	3	1.00	85.24	13.40	1.00
Dic-88	60	4.8	3	1.80	87.04	13.40	1.80
Ene-89	18	1.44	3	-1.56	85.48	11.84	0.00
Feb-89	8	0.64	3	-2.36	83.12	9.48	0.00
Mar-89	76	6.08	3	3.08	86.20	12.56	0.00
Abr-89	2	0.16	3	-2.84	83.36	9.72	0.00
May-89	65	5.2	3	2.20	85.56	11.92	0.00
Jun-89	6	0.48	3	-2.52	83.04	9.40	0.00
Jul-89	78	6.24	3	3.24	86.28	12.64	0.00
Ago-89	5	0.4	3	-2.60	83.68	10.04	0.00
Sep-89	114	9.12	3	6.12	89.80	13.40	2.76
Oct-89	92	7.36	3	4.36	94.16	13.40	4.36
Nov-89	105	8.4	3	5.40	99.56	13.40	5.40
Dic-89	3	0.24	3	-2.76	96.80	10.64	0.00
Ene-90	26	2.08	3	-0.92	95.88	9.72	0.00
Feb-90	33	2.64	3	-0.36	95.52	9.36	0.00
Mar-90	70	5.6	3	2.60	98.12	11.96	0.00

mes	Prec. Mes mm	Vol. M3 Aporte	Vol. M3 Demanda	VA - VD	$\Sigma$ VA - VD	Vol. Embalse	Vol Exced.
Mar-90	70	5.6	3	2.60	98.12	11.96	0.00
Abr-90	44	3.52	3	0.52	98.64	12.48	0.00
May-90	121	9.68	3	6.68	105.32	13.40	5.76
Jun-90	109	8.72	3	5.72	111.04	13.40	5.72
Jul-90	29	2.32	3	-0.68	110.36	12.72	0.00
Ago-90	66	5.28	3	2.28	112.64	13.40	1.60
Sep-90	47	3.76	3	0.76	113.40	13.40	0.76
Oct-90	121	9.68	3	6.68	120.08	13.40	6.68
Nov-90	28	2.24	3	-0.76	119.32	12.64	0.00
Dic-90	24	1.92	3	-1.08	118.24	11.56	0.00
Ene-91	0	0	3	-3.00	115.24	8.56	0.00
Feb-91	9	0.72	3	-2.28	112.96	6.28	0.00
Mar-91	36	2.88	3	-0.12	112.84	6.16	0.00
Abr-91	46	3.68	3	0.68	113.52	6.84	0.00
May-91	106	8.48	3	5.48	119.00	12.32	0.00
Jun-91	32	2.56	3	-0.44	118.56	11.88	0.00
Jul-91	32	2.56	3	-0.44	118.12	11.44	0.00
Ago-91	22	1.76	3	-1.24	116.88	10.20	0.00
Sep-91	96	7.68	3	4.68	121.56	13.40	1.48
Oct-91	111	8.88	3	5.88	127.44	13.40	5.88
Nov-91	66	5.28	3	2.28	129.72	13.40	2.28
Dic-91	0	0	3	-3.00	126.72	10.40	0.00
Ene-92	10	0.8	3	-2.20	124.52	8.20	0.00
Feb-92	11	0.88	3	-2.12	122.40	6.08	0.00
Mar-92	0	0	3	-3.00	119.40	3.08	0.00
Abr-92	32	2.56	3	-0.44	118.96	2.64	0.00
May-92	81	6.48	3	3.48	122.44	6.12	0.00
Jun-92	64	5.12	3	2.12	124.56	8.24	0.00
Jul-92	57	4.56	3	1.56	126.12	9.80	0.00
Ago-92	8	0.64	3	-2.36	123.76	7.44	0.00
Sep-92	86	6.88	3	3.88	127.64	11.32	0.00
Oct-92	9	0.72	3	-2.28	125.36	9.04	0.00
Nov-92	40	3.2	3	0.20	125.56	9.24	0.00
Dic-92	11	0.88	3	-2.12	123.44	7.12	0.00
Ene-93	35	2.8	3	-0.20	123.24	6.92	0.00

mes	Prec. Mes mm	Vol. M3 Aporte	Vol. M3 Demanda	VA - VD	Σ VA - VD	Vol. Embalse	Vol Exced.
Ene-93	35	2.8	3	-0.20	123.24	6.92	0.00
Feb-93	0	0	3	-3.00	120.24	3.92	0.00
Mar-93	77	6.16	3	3.16	123.40	7.08	0.00
Abr-93	129	10.32	3	7.32	130.72	13.40	1.00
May-93	18	1.44	3	-1.56	129.16	11.84	0.00
Jun-93	55	4.4	3	1.40	130.56	13.24	0.00
Jul-93	3	0.24	3	-2.76	127.80	10.48	0.00
Ago-93	11	0.88	3	-2.12	125.68	8.36	0.00
Sep-93	105	8.4	3	5.40	131.08	13.40	0.36
Oct-93	26	2.08	3	-0.92	130.16	12.48	0.00
Nov-93	22	1.76	3	-1.24	128.92	11.24	0.00
Dic-93	0	0	3	-3.00	125.92	8.24	0.00
Ene-94	43	3.44	3	0.44	126.36	8.68	0.00
Feb-94	19	1.52	3	-1.48	124.88	7.20	0.00
Mar-94	46	3.68	3	0.68	125.56	7.88	0.00
Abr-94	82	6.56	3	3.56	129.12	11.44	0.00
May-94	72	5.76	3	2.76	131.88	13.40	0.80
Jun-94	34	2.72	3	-0.28	131.60	13.12	0.00
Jul-94	64	5.12	3	2.12	133.72	13.40	1.84
Ago-94	32	2.56	3	-0.44	133.28	12.96	0.00
Sep-94	144	11.52	3	8.52	141.80	13.40	8.08
Oct-94	45	3.6	3	0.60	142.40	13.40	0.60
Nov-94	48	3.84	3	0.84	143.24	13.40	0.84
Dic-94	57	4.56	3	1.56	144.80	13.40	1.56
Ene-95	0	0	3	-3.00	141.80	10.40	0.00
Feb-95	14	1.12	3	-1.88	139.92	8.52	0.00
Mar-95	60	4.8	3	1.80	141.72	10.32	0.00
Abr-95	78	6.24	3	3.24	144.96	13.40	0.16
May-95	96	7.68	3	4.68	149.64	13.40	4.68
Jun-95	25	2	3	-1.00	148.64	12.40	0.00
Jul-95	49	3.92	3	0.92	149.56	13.32	0.00
Ago-95	120	9.6	3	6.60	156.16	13.40	6.52
Sep-95	41	3.28	3	0.28	156.44	13.40	0.28
Oct-95	132	10.56	3	7.56	164.00	13.40	7.56
Nov-95	14	1.12	3	-1.88	162.12	11.52	0.00

mes	Prec. Mes mm	Vol. M3 Aporte	Vol. M3 Demanda	VA - VD	Σ VA - VD	Vol. Embalse	Vol Exced.
Nov-95	14	1.12	3	-1.88	162.12	11.52	0.00
Dic-95	33	2.64	3	-0.36	161.76	11.16	0.00
Ene-96	13	1.04	3	-1.96	159.80	9.20	0.00
Feb-96	16	1.28	3	-1.72	158.08	7.48	0.00
Mar-96	105	8.4	3	5.40	163.48	12.88	0.00
Abr-96	39	3.12	3	0.12	163.60	13.00	0.00
May-96	53	4.24	3	1.24	164.84	13.40	0.84
Jun-96	14	1.12	3	-1.88	162.96	11.52	0.00
Jul-96	51	4.08	3	1.08	164.04	12.60	0.00
Ago-96	51	4.08	3	1.08	165.12	13.40	0.28
Sep-96	51	4.08	3	1.08	166.20	13.40	1.08
Oct-96	100	8	3	5.00	171.20	13.40	5.00
Nov-96	53	4.24	3	1.24	172.44	13.40	1.24
Dic-96	13	1.04	3	-1.96	170.48	11.44	0.00
Ene-97	17	1.36	3	-1.64	168.84	9.80	0.00
Feb-97	54	4.32	3	1.32	170.16	11.12	0.00
Mar-97	48	3.84	3	0.84	171.00	11.96	0.00
Abr-97	28	2.24	3	-0.76	170.24	11.20	0.00
May-97	56	4.48	3	1.48	171.72	12.68	0.00
Jun-97	25	2	3	-1.00	170.72	11.68	0.00
Jul-97	2	0.16	3	-2.84	167.88	8.84	0.00
Ago-97	69	5.52	3	2.52	170.40	11.36	0.00
Sep-97	41	3.28	3	0.28	170.68	11.64	0.00
Oct-97	47	3.76	3	0.76	171.44	12.40	0.00
Nov-97	15	1.2	3	-1.80	169.64	10.60	0.00
Dic-97	0	0	3	-3.00	166.64	7.60	0.00
Ene-98	0	0	3	-3.00	163.64	4.60	0.00
Feb-98	10	0.8	3	-2.20	161.44	2.40	0.00
Mar-98	22	1.76	3	-1.24	160.20	1.16	0.00
Abr-98	29	2.32	3	-0.68	159.52	0.48	0.00
May-98	50	4	3	1.00	160.52	1.48	0.00
Jun-98	19	1.52	3	-1.48	159.04	<b>0.00</b>	0.00
Jul-98	79	6.32	3	3.32	162.36	3.32	0.00
Ago-98	107	8.56	3	5.56	167.92	8.88	0.00
Sep-98	46	3.68	3	0.68	168.60	9.56	0.00

mes	Prec. Mes mm	Vol. M3 Aporte	Vol. M3 Demanda	VA - VD	Σ VA - VD	Vol. Embalse	Vol Exced.
Sep-98	46	3.68	3	0.68	168.60	9.56	0.00
Oct-98	83	6.64	3	3.64	172.24	13.20	0.00
Nov-98	36	2.88	3	-0.12	172.12	13.08	0.00
Dic-98	72	5.76	3	2.76	174.88	13.40	2.44
Ene-99	0	0	3	-3.00	171.88	10.40	0.00
Feb-99	39	3.12	3	0.12	172.00	10.52	0.00
Mar-99	19	1.52	3	-1.48	170.52	9.04	0.00
Abr-99	76	6.08	3	3.08	173.60	12.12	0.00
May-99	67	5.36	3	2.36	175.96	13.40	1.08
Jun-99	49	3.92	3	0.92	176.88	13.40	0.92
Jul-99	71	5.68	3	2.68	179.56	13.40	2.68
Ago-99	22	1.76	3	-1.24	178.32	12.16	0.00
Sep-99	81	6.48	3	3.48	181.80	13.40	2.24
Oct-99	108	8.64	3	5.64	187.44	13.40	5.64
Nov-99	41	3.28	3	0.28	187.72	13.40	0.28
Dic-99	2	0.16	3	-2.84	184.88	10.56	0.00
Ene-00	31	2.48	3	-0.52	184.36	10.04	0.00
Feb-00	17	1.36	3	-1.64	182.72	8.40	0.00
Mar-00	11	0.88	3	-2.12	180.60	6.28	0.00
Abr-00	45	3.6	3	0.60	181.20	6.88	0.00
May-00	34	2.72	3	-0.28	180.92	6.60	0.00
Jun-00	4	0.32	3	-2.68	178.24	3.92	0.00
Jul-00	46	3.68	3	0.68	178.92	4.60	0.00
Ago-00	13	1.04	3	-1.96	176.96	2.64	0.00
Sep-00	124	9.92	3	6.92	183.88	9.56	0.00
Oct-00	78	6.24	3	3.24	187.12	12.80	0.00
Nov-00	45	3.6	3	0.60	187.72	13.40	0.00
Dic-00	21	1.68	3	-1.32	186.40	12.08	0.00
Ene-01	4	0.32	3	-2.68	183.72	9.40	0.00
Feb-01	4	0.32	3	-2.68	181.04	6.72	0.00
Mar-01	1	0.08	3	-2.92	178.12	3.80	0.00
Abr-01	27	2.16	3	-0.84	177.28	2.96	0.00
May-01	51	4.08	3	1.08	178.36	4.04	0.00
Jun-01	38	3.04	3	0.04	178.40	4.08	0.00
Jul-01	77	6.16	3	3.16	181.56	7.24	0.00
Ago-01	47	3.76	3	0.76	182.32	8.00	0.00

mes	Prec. Mes mm	Vol. M3 Aporte	Vol. M3 Demanda	VA - VD	Σ VA - VD	Vol. Embalse	Vol Exced.
Ago-01	47	3.76	3	0.76	182.32	8.00	0.00
Sep-01	151	12.08	3	9.08	191.40	13.40	3.68
Oct-01	83	6.64	3	3.64	195.04	13.40	3.64
Nov-01	14	1.12	3	-1.88	193.16	11.52	0.00
Dic-01	17	1.36	3	-1.64	191.52	9.88	0.00
Ene-02	29	2.32	3	-0.68	190.84	9.20	0.00
Feb-02	0	0	3	-3.00	187.84	6.20	0.00
Mar-02	87	6.96	3	3.96	191.80	10.16	0.00
Abr-02	70	5.6	3	2.60	194.40	12.76	0.00
May-02	169	13.52	3	10.52	204.92	13.40	9.88
Jun-02	22	1.76	3	-1.24	203.68	12.16	0.00
Jul-02	37	2.96	3	-0.04	203.64	12.12	0.00
Ago-02	11	0.88	3	-2.12	201.52	10.00	0.00
Sep-02	81	6.48	3	3.48	205.00	13.40	0.08
Oct-02	103	8.24	3	5.24	210.24	13.40	5.24
Nov-02	27	2.16	3	-0.84	209.40	12.56	0.00
Dic-02	9	0.72	3	-2.28	207.12	10.28	0.00
Ene-03	0	0	3	-3.00	204.12	7.28	0.00
Feb-03	17	1.36	3	-1.64	202.48	5.64	0.00
Mar-03	71	5.68	3	2.68	205.16	8.32	0.00
Abr-03	117	9.36	3	6.36	211.52	13.40	1.28
May-03	17	1.36	3	-1.64	209.88	11.76	0.00
Jun-03	46	3.68	3	0.68	210.56	12.44	0.00
Jul-03	31	2.48	3	-0.52	210.04	11.92	0.00
Ago-03	69	5.52	3	2.52	212.56	13.40	1.04
Sep-03	47	3.76	3	0.76	213.32	13.40	0.76
Oct-03	75	6	3	3.00	216.32	13.40	3.00
Nov-03	54	4.32	3	1.32	217.64	13.40	1.32
Dic-03	15	1.2	3	-1.80	215.84	11.60	0.00
Ene-04	75	6	3	3.00	218.84	13.40	1.20
Feb-04	27	2.16	3	-0.84	218.00	12.56	0.00
Mar-04	14	1.12	3	-1.88	216.12	10.68	0.00
Abr-04	67	5.36	3	2.36	218.48	13.04	0.00
May-04	150	12	3	9.00	227.48	13.40	8.64
Jun-04	21	1.68	3	-1.32	226.16	12.08	0.00
Jul-04	12	0.96	3	-2.04	224.12	10.04	0.00