



**SUBDIRECCION DE CONOCIMIENTO
AMBIENTAL TERRITORIAL**



EMBALSE SARA-BRUT

Municipio de Bolívar, Departamento del Valle del Cauca



Fotografía: Proyecto SARA-BRUT

ESTUDIO TÉCNICO PARA DEFINIR LA REGLA OPERACIÓN DEL EMBALSE SARA-BRUT

Municipio de Bolívar, Departamento del Valle del Cauca

Santiago de Cali, Septiembre de 2.003

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL VALLE DEL CAUCA
SUBDIRECCIÓN DE CONOCIMIENTO AMBIENTAL
TERRITORIAL

ESTUDIO TÉCNICO PARA DEFINIR LA REGLA DE
OPERACIÓN DEL EMBALSE SARA-BRUT

Elaboró
CLAUDIA YISELLY SOTO CHÁVEZ
Ingeniera Agrícola

Según Orden de Trabajo 3608 de Junio 13 de 2.003

Dirigió
Ing. MARÍA CLEMENCIA SANDOVAL G.
Profesional Especializada COAT

Ing. HOLGER PEÑA CÓRDOBA
Coordinador Proyecto SARA-BRUT

SANTIAGO DE CALI, SEPTIEMBRE DE 2.003

Copia No Controlada CVC

CONTENIDO

pág.

1. ANTECEDENTES	1
2. EMBALSE SARA-BRUT, MUNICIPIO DE BOLÍVAR	11
2.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	11
2.2 CARACTERÍSTICAS Y CONDICIONES DE OPERACIÓN	12
2.3 CARACTERÍSTICAS DE ABASTECIMIENTO	13
3. SIMULACIÓN DE LA OPERACIÓN DEL EMBALSE	16
3.1 DEFINICIÓN Y CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL MODELO DE SIMULACIÓN	16
3.2 INFORMACIÓN NECESARIA PARA EL MODELO DE SIMULACIÓN	18
3.2.1 Evaluación de la serie de caudales de entrada al Embalse.	19
3.2.2 Evaluación de las demandas de agua para satisfacer con el Embalse.	21
3.3 DEFINICIÓN DE ESCENARIOS DE SIMULACIÓN	21
3.3.1 Análisis de sensibilidad del modelo de simulación.	21
3.3.2 Definición de escenarios de simulación.	22
3.3.3 Resultados obtenidos con los escenarios de simulación.	22
4. REGLA DE OPERACIÓN DEL EMBALSE	27
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	30

LISTA DE CUADROS

- Cuadro 1.** Información de Capacidad del Embalse vs. Elevación.
- Cuadro 2.** Información de caudal efluente por el sistema de suministro de caudal ecológico, en función de la elevación del Embalse.
- Cuadro 3.** Curva de capacidad del rebosadero de servicio.
- Cuadro 4.** Curva de capacidad del rebosadero auxiliar.
- Cuadro 5.** Población anual proyectada para las cabeceras de los Municipios de Bolívar, Roldanillo, La Unión, Toro, La Victoria, Zarzal, Obando, y el Corregimiento de Ricaurte.
- Cuadro 6.** Consumos medio diario, máximo diario y máximo ponderado diario, en las cabeceras de los Municipios de Bolívar, Roldanillo, La Unión, Toro, La Victoria, Zarzal, Obando, y el Corregimiento de Ricaurte.
- Cuadro 7.** Características estadísticas básicas de la serie de caudales medios mensuales del Río Pescador en el sitio del Embalse SARA-BRUT. Período de registros: 1.967-2.000.
- Cuadro 8.** Pruebas de ajuste para las distribuciones de la serie de caudales medios mensuales del Río Pescador en el sitio del Embalse SARA-BRUT. Período de registros: 1.967-2.000.
- Cuadro 9.** Caudal medio mensual del Río Pescador en el sitio del Embalse SARA-BRUT. período de registros: 1.975-2.000.
- Cuadro 10.** Caudales, tiempo de operación y capacidad máxima de las Plantas de Tratamiento de Acuavalle S.A. E.S.P. de los Municipios que conforman el Proyecto SARA-BRUT.
- Cuadro 11.** Descripción y resultados de los escenarios definidos para el análisis de sensibilidad del modelo de simulación.
- Cuadro 12.** Descripción de los escenarios definidos para simular el comportamiento del Embalse.
- Cuadro 13.** Resultados de los escenarios definidos para simular el comportamiento del Embalse

Cuadro 14. Caudal máximo efluente para otros usos aguas abajo del Embalse, según el nivel de operación.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Localización general del Embalse SARA-BRUT.
- Figura 2.** Capacidad del Embalse vs. Elevación.
- Figura 3.** Caudal efluente por el sistema de suministro de caudal ecológico vs. Elevación del Embalse.
- Figura 4.** Tiempo en años vs. Número de habitantes por año para los Municipios de Bolívar, Roldanillo, La Unión, Toro, La Victoria, Zarzal, Obando, y el Corregimiento de Ricaurte.
- Figura 5.** Variación de los caudales medios anuales, Río Pescador en el sitio del Embalse SARA-BRUT.
- Figura 6.** Comportamiento del Embalse SARA-BRUT, bajo las condiciones del Escenario de Simulación 1.
- Figura 7.** Comportamiento del Embalse SARA-BRUT, bajo las condiciones del Escenario de Simulación 2.
- Figura 8.** Comportamiento del Embalse SARA-BRUT, bajo las condiciones del Escenario de Simulación 3.
- Figura 9.** Comportamiento del Embalse SARA-BRUT, bajo las condiciones del Escenario de Simulación 4.
- Figura 10.** Comportamiento del Embalse SARA-BRUT, bajo las condiciones del Escenario de Simulación 5.
- Figura 11.** Comportamiento del Embalse SARA-BRUT, bajo las condiciones del Escenario de Simulación 6.
- Figura 12.** Comportamiento del Embalse SARA-BRUT, bajo las condiciones del Escenario de Simulación 7.

1. ANTECEDENTES

A continuación se citan y se describen brevemente los estudios e informes que se tomaron como soporte y apoyo para la elaboración del estudio técnico para definir la regla de operación del Embalse SARA-BRUT en el Municipio de Bolívar (Valle del Cauca).

La **CVC** en el año 1.977 (*Ref. 12*), mediante Resolución 0146 de Febrero 18 de 1.977 reglamentó en forma general el Río Pescador, derivaciones, subderivaciones y ramificaciones, cuyas aguas discurren por el Municipio de Bolívar en el Departamento del Valle del Cauca. La distribución se hizo de la siguiente manera:

Módulo de riego	: 1,0 l/s/ha	Caudal base para distribución:	600,00 l/s
Caudal total asignado	: 573,00 l/s	Total de asignaciones:	63
Caudal remanente	: 27,00 l/s		

Tabla 1. Resumen de derivaciones, nombre y caudales asignados, Reglamentación del Río Pescador en el año 1.977

Derivación	Nombre	Caudal asignado (l/s)
Derivación Primera Derecha No.1	Acequia La Mina	220,0
Subderivación Primera Izquierda No.1-1	Acequia Bella Vista	174,0
Ramificación Primera Derecha No.1-1-A	Acequia Villa Miryam	3,5
Ramificación Primera Izquierda No.1-1-B	Acequia La Granja	30,0
Ramificación Segunda Izquierda No.1-1-C	Zanjón Guabinero	22,5
Ramificación Segunda Derecha No.1-1-D		40,0
Derivación Segunda Derecha No.2	Acequia Acueducto	17,0
Derivación Primera Izquierda No.3	Acequia Tequendama	281,0
Subderivación Primera Izquierda No.3-I	Acequia Plaza Vieja	48,0
Subderivación Primera Derecha No.3-II	Acequia El Tunó	17,0
Subderivación Segunda Izquierda No.3-III	Acequia El Clavo	28,0
Derivación Tercera Derecha No.4	Acequia Guevara	46,0
Bombeos directos del Río	2 usuarios	9,0

El **Consortio HIDROPOL** en 1.996 (*Ref. 2*), realizó para la Gobernación del Valle del Cauca y Acuavalle S.A. un informe en el que presentaron los resultados de los estudios relacionados con la generación de la serie de caudales diarios en el Río Pescador a la altura del sitio de presa y un análisis preliminar de la capacidad y operación del Embalse, bajo el supuesto de que el proyecto fuera de propósito múltiple (para abastecimiento de acueductos y atención de las asignaciones de agua).

Para este estudio se contó con registros parciales de información en dos estaciones de medición sobre el Río Pescador:

- Bocatoma → Instalada a una elevación de 929 msnm aproximadamente, aguas abajo de la primera derivación de agua. Esta estación fue arrasada por una creciente en el año 1.987.
Período de registros: 1.952–1.954, 1.972–1.973, 1.976–1.986
- La Florida → Instalada a una elevación de 1.360 msnm, aguas abajo del puente de la carretera que del Municipio de Bolívar conducía a La Primavera y que actualmente ha sido inundada por el Embalse; aproximadamente 150 m aguas arriba del sitio donde en la actualidad existe la presa.
Período de registros: 1.989 – Abril de 1.996
Se destacan los años 1.991 y 1.992 por encontrarse dentro de los años con caudales más bajos.

En este estudio se usó el criterio de rendimientos específicos de la cuenca ($l/s/Km^2$) por milímetro de precipitación, obteniéndose un factor de transposición de 0,9; aplicando este factor se efectuó transposición de caudales registrados en la estación Bocatoma para el sitio La Florida en los períodos 1.972–1.973 y 1.976–1.986.

Complementariamente, en desarrollo de los estudios de prefactibilidad del proyecto de abastecimiento de agua, se trabajó con la serie de caudales de la estación Mateguadua en el Río Tuluá, la cual cuenta con información continua desde 1.967. A partir de estos datos se generaron series de caudales promedios diarios para la estación Bocatoma, con base

en el análisis de los datos donde existía información simultánea en las dos estaciones. De dicho análisis se obtuvieron factores mensuales de transposición, los cuales fueron chequeados y se encontraron satisfactorios; con estos factores se generaron caudales promedios mensuales en Bocatoma a partir de Mateguadua para los años 1.967 (parcial), 1.968–1.970, 1.971 (parcial), 1.974–1.975, 1.987–1.988. Luego se aplicó el factor de transposición de 0,9 y fue posible contar con información de caudales en el sitio La Florida para el período 1.967–1.996. Para los períodos que aún continuaban sin información, los caudales se generaron con un procedimiento similar al usado con el Río Tuluá, con caudales mensuales (medios multianuales) del Río La Vieja.

Finalmente se obtuvo la serie completa de caudales promedio diarios y mensuales en el período 1.967–1.996 (Abril), cuya medida de comprobación o consistencia consistió en la comparación de la información generada con los datos de lluvia ponderada en la cuenca, encontrando buena correlación.

El **Consortio HIDROPOL (Hidro-Occidente Ltda. – Ponce de León y Asociados S.A.)** en el año de 1.996 (*Ref. 3*), presentó los resultados de los análisis y cálculos realizados para determinar los caudales e hidrogramas requeridos en el diseño de las estructuras anexas a la presa en el Río Pescador, al igual que lo concerniente a la determinación de la creciente máxima probable requerida para el dimensionamiento del rebosadero.

El **Consortio HIDROPOL (Hidro-Occidente Ltda. – Ponce de León y Asociados S.A.)** (1996) (*Ref. 4*), presentó los resultados del estudio definitivo de cuantificación de sedimentos transportados por el Río Pescador y su forma de acomodarse en el Embalse al cabo de diferentes años de operación, hasta los 50 años de vida útil.

Tabla 2. Volumen de sedimentos con descarga de fondo: Valores totales de sedimentos retenidos en el Embalse después de ser descargada una parte de ellos

Año	Sedimentación (m ³)						
5	512.573	20	1.917.658	35	3.262.267	50	4.576.696
10	992.284	25	2.370.264	40	3.703.103	75	6.725.349
15	1.459.072	30	2.818.185	45	4.141.133	100	8.837.930

Tabla 3. Volumen de sedimentos sin descarga de fondo: Se considera nula la incidencia de una descarga de fondo en la evaluación de sedimentos del Embalse

Año	Sedimentación (m ³)						
5	640.716	20	2.397.072	35	4.077.833	50	5.720.869
10	1.240.355	25	2.962.830	40	4.628.878	75	8.406.686
15	1.823.840	30	3.522.732	45	5.176.416	100	11.047.413

El Consorcio **HIDROPOL (Hidro-Occidente Ltda. – Ponce de León y Asociados S.A.)** (1.996) (Ref. 5), realizó los cálculos para determinar el área y el volumen del Embalse del Río Pescador; determinó las curvas Área vs. Elevación, Volumen vs. Elevación de la zona del Embalse y las correspondientes a valores útiles de área y volumen para diferentes elevaciones de la zona del Embalse.

Para efectos de definir la operación del Embalse tanto para acueducto como para generación de energía, se indicaron en este informe las elevaciones en sistema IGAC a las cuales quedarían ubicadas las estructuras asociadas:

Solera de entrada del túnel de desviación	1.373,50 msnm
Nivel mínimo de operación para acueducto (extremo)	1.392,50 msnm
Nivel de la estructura de captación	1.392,00 msnm
Nivel mínimo de operación normal	1.395,50 msnm
Nivel máximo normal de operación	1.408,00 msnm
Nivel de la gola del rebosadero	1.408,00 msnm
Nivel superior del parapeto de la presa	1.413,00 msnm
Nivel de corona de diques de cierre	1.413,00 msnm

En 1.999, **HIDRO-OCCIDENTE LTDA.** (Ref. 13), desarrolló un estudio en donde presentó información de población y demanda de agua anual a partir del año 1.985 y proyectada hasta el año 2.025, para las cabeceras de los Municipios de Bolívar, Roldanillo, La Unión, Toro, Zarzal, La Victoria y Obando, Corregimientos de Ricaurte y La Herradura; donde el cálculo de la demanda de agua se hizo con base en los criterios de ACUAVALLE, que son:

Consumo : 200 l/hab/día
Pérdidas : 25%
Factor de Pico : 1,25

Tabla 4. Demanda de agua total proyectada para el año 2.025, Municipios de Bolívar, Roldanillo, La Unión, Toro, La Victoria, Zarzal y Obando, Corregimientos de Ricaurte y La Herradura

Cabecera Municipal	Población (Año 2.025)	Consumo Máximo Diario (l/s)
Bolívar	3.874	14
Roldanillo	36.538	145
La Unión	38.368	153
Toro	11.692	42
La Victoria	10.650	39
Zarzal	30.215	109
Obando	19.072	69
Ricaurte	2.420	9
La Herradura	1.296	5
TOTAL	154.125	585

INGETEC S.A. en el año 2.000 (Ref. 7), hizo una descripción del sistema de rebose del Proyecto, el cual consiste en un rebosadero de servicio de 12 m de ancho, con cresta a la cota 1.408,00 msnm, y un rebosadero auxiliar de 105 m de ancho, con cresta a la cota 1.410,50 msnm.

- ◆ Rebosadero de servicio: La función principal de este rebosadero es la de evacuar por si solo las crecientes con períodos de retorno de hasta 1.000 años.
- ◆ Rebosadero auxiliar: Este rebosadero solo entrará a operar al presentarse crecientes con período de recurrencia superior a 1.000 años. Los caudales provenientes del rebosadero auxiliar descargarán al cauce de la Quebrada Botija, produciendo la erosión de dicho cauce.

INGETEC S.A. año 2.000 (Ref. 6), presentó en un informe los criterios y resultados del análisis hidráulico del sistema de captación y descarga de fondo del Embalse sobre el Río Pescador.

- ◆ Descripción del sistema de captación y descarga de fondo.
- ◆ Diseño hidráulico: Determinación del nivel mínimo de operación del Embalse; estimativo de las pérdidas hidráulicas del sistema de captación; curvas de capacidad de la descarga de fondo; capacidad del sistema de suministro del caudal ecológico y llenado del túnel; cálculo del tiempo de llenado del túnel.
- ◆ Operación de la estructura de captación y descarga de fondo: Operación durante la construcción de las obras de captación y descarga de fondo; operación normal de la bocatoma y descarga de fondo.

El **Grupo de Recursos Hídricos** de la **CVC** en el año 2.001 (*Ref. 10*), elaboró un inventario de los usuarios de agua en la zona plana de la cuenca del Río Pescador.

Mediante Resolución SGA 324 de Agosto 31 de 1.999, la Subdirección de Gestión Ambiental de la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca CVC, ORDENA la reglamentación general del Río Pescador con el propósito de ajustar la del año 1.977 a las nuevas disposiciones generadas por la Licencia Ambiental y considerando que el Decreto Reglamentario 1.541 de 1.978 da prioridad al consumo doméstico. Se realizan los estudios, investigaciones, inspecciones oculares, elaboración de planos y demás actuaciones que se consideran conducentes para expedir el Proyecto de Reglamentación General de la corriente citada, generando los siguientes informes:

- ◆ Identificación de usuarios y usos actuales para establecer sus requerimientos hídricos.
- ◆ Evaluación del caudal disponible para distribución.
- ◆ Inicio de un plan trabajo con los usuarios de la cuenca para definir la opción de distribución más conveniente, el cual incluye el diseño de tres bocatomas para el caudal demandado en su área de influencia (sujeto a la modificación de la Licencia Ambiental).

Ministerio del Medio Ambiente, Período: 1.999 y 2.002 (*Ref. 11*).

- ◆ Resolución No.0532 de Julio 01 de 1.999, menciona la obligación de mantener un caudal ecológico de 400 l/s con lo cual se garantiza la conservación de las especies ícticas.

- ◆ Resolución No.0306 de Abril 09 de 2.002, modificó parcialmente la Resolución No.0532 de Julio 01 de 1.999, dejando como caudal ecológico 350 l/s para garantizar la conservación de las especies ícticas.
- ◆ Resolución No.0545 de Junio 18 de 2.002, la cual resuelve recurso de reposición presentado en contra de la Resolución 0306 de Abril 09 de 2.002, disponiendo: "... CVC deberá garantizar los siguientes caudales ecológicos en el Río Pescador, durante la operación del Embalse del proyecto SARA BRUT: aguas arriba del Embalse 400 l/s, aguas abajo e inmediatamente después de la presa 200 l/s, parte baja de la cuenca 300 l/s".

La **CVC – Unidad de Manejo de Cuenca Río Frío – Piedras – Pescador** en el año 2.002 (*Ref. 1*), llevó a cabo el análisis del estado actual de las aguas superficiales del Río Pescador, apoyándose en las siguientes actividades:

- ◆ Captura de información disponible en la Unidad de Manejo de Cuenca.
- ◆ Clasificación, comparación y verificación de la información.
- ◆ Visitas de campo.
- ◆ Inventario de usuarios.

Madriñán en el año 2.002 (*Ref. 14*), realizó un estudio cuyos objetivos consistieron en simular la operación del Embalse mediante la aplicación de un modelo de balance hidrológico, generar una serie de caudales medios para las quebradas que drenan al Río Pescador aguas abajo del embalse y obtener una serie de caudales medios diarios disponibles para su distribución aguas abajo del embalse.

El modelo que se aplicó para simular la operación diaria del Embalse para el abastecimiento del acueducto regional y el mantenimiento de un caudal ecológico, fue el Pond-2 desarrollado por Haestad Methods, el cual se basa en la ejecución de un balance diario entre el caudal aportado al Embalse y las demandas que se deben abastecer.

Fue indispensable contar con una serie de caudales a nivel diario que tuviera una longitud suficiente para cubrir las variaciones del caudal a través de los ciclos húmedos y secos que

han ocurrido a escala regional. En este informe, se trabajó con dos series de caudales a escala diaria, las cuales se extendieron hasta el horizonte de diseño o vida útil del proyecto (año 2.025):

Serie 1 → Serie evaluada en el informe del Consorcio HIDROPOL, complementada hasta Diciembre del año 2.000 con los datos registrados en la estación La Florida. Período de registros: 1.967–2.000, Longitud total de registros: 34 años, de los cuales se tomaron 23: 1.978–2.000.

Serie 2 → Serie obtenida repitiendo cíclicamente los 12 años de registros originados en la estación La Florida (1.989–2.000). Longitud total de registros: 24 años.

Se trabajaron distintos escenarios considerando además de las series disponibles, tres tipos de consumo: medio diario, máximo diario y máximo ponderado diario. En términos generales, los resultados obtenidos no presentaron fallas significativas y se obtuvieron series con información de caudal disponible aguas abajo de la presa, las cuales involucraron el aporte de varias quebradas que drenan al Río Cauca en el tramo ubicado entre la presa y la primera obra de derivación de aguas.

La **CVC – Oficina de Integración con la Sociedad Civil** en el 2.003 (*Ref. 9*), en cumplimiento de la Licencia Ambiental para la construcción del Embalse SARA-BRUT presentó la formulación del Plan de Gestión Social, cuyo objetivo de implementación es el de contribuir a la sostenibilidad del Proyecto y a la mitigación de impactos sociales generados por el desarrollo del mismo.

El Plan comprende:

- ◆ Participación para la formulación del Plan: Comunidad, representantes de la Administración Municipal, ONG's.
- ◆ Área de trabajo: Sector urbano de Bolívar, Guare y San Fernando; sector de La Tulia y veredas aledañas; sector de Primavera y veredas aledañas; sector de Ricaurte y área de influencia.

- ◆ Análisis de situaciones comunes: Disminución de caudal del Río Pescador; déficit de reforestación, aislamiento y protección de los nacimientos de agua, erosión y deforestación; contaminación del recurso hídrico; cambio en el uso del suelo y del agua; falta de conciencia ambiental; cambio por presencia de personas extrañas en la zona; ausencia de políticas de manejo especial del territorio de influencia del proyecto SARA-BRUT.
- ◆ Componentes y estrategias del Plan: Recurso hídrico, reforestación, agroecoturismo, ordenamiento territorial, educación, fortalecimiento institucional y de la sociedad civil.
- ◆ Socialización del Plan.

HIDRO-OCCIDENTE LTDA., en el año 2.003 (*Ref. 8*), realizó la modelación hidráulica del sistema final de conducción, definiendo diferentes escenarios variando la rugosidad, el nivel del Embalse, la operación de las válvulas y el caudal.

En este informe se recomienda que el nivel se baje a 1.392,50 msnm sólo en casos críticos de déficit de agua en la zona y no se adopte como nivel mínimo normal de operación.

La **Oficina del Proyecto SARA-BRUT** de la **CVC**, suministró de manera escrita y verbal, la siguiente información complementaria:

- ◆ Memorando CVC 1190-002-004-0935-02.
 - Curva Capacidad del Embalse vs. Elevación (Sistema de elevaciones IGAC).
 - Curva de calibración Nivel Embalse vs. Caudal ambiental extraído a través de la tubería de diámetro 10" instalada para tal fin (Sistema de elevaciones BRUT).
- ◆ Oficio de ACUAVALLE para la Oficina del Proyecto SARA-BRUT.
 - Información de caudales mínimos, máximos y promedios de operación de las Plantas de Tratamiento de Acuavalle S.A. E.S.P. de los siete Municipios que conforman el Proyecto BRUT.
- ◆ Planos de obra construida: Presa y Obras anexas.
 - Planos 001, 001A, 003, 004, 004A, 005, 006, 006A, 007, 008, 009A, 010i, 015A, 015B, 015C, 015E-R2, 015F, 015G, 015H-R1, 016R1, 017, 018A, 012, 014A, 029,

030, 030A, 030B, 030C, 030D, 032F-R0, 034G, 034H, 034J-1, 034J-2, 034K, 034L,
035, 035A, 035B, 036A-1, 036D-R4, 036F, 036G.

- ◆ Diferencia entre sistema de elevaciones IGAC y BRUT.
 - Sistema de elevaciones IGAC = Sistema de elevaciones BRUT + 0,40 m
- ◆ Curvas de capacidad de los rebosaderos de servicio y auxiliar.
- ◆ Resultado de aforos practicados en los afluentes al Río Pescador: Calamar y Platanares.

2. EMBALSE SARA-BRUT, MUNICIPIO DE BOLÍVAR

El Embalse SARA-BRUT localizado en el Municipio de Bolívar con una capacidad total de 17,71 Mm³, es el resultado de almacenar agua que aportan los Ríos Calamar y Platanares en su confluencia, sitio donde se origina el Río Pescador. El Proyecto de regulación del Río Pescador, tiene como propósito fundamental atender las necesidades de agua potable de las cabeceras de los Municipios de Bolívar, Roldanillo, La Unión, Toro, Obando, La Victoria, Zarzal, y el Corregimiento de Ricaurte en el Municipio de Bolívar, localizados en el norte del Departamento del Valle del Cauca, además de garantizar el suministro de caudal necesario para la conservación de la diversidad acuática.

En la **Figura 1** se presenta la localización general del Embalse SARA-BRUT.

2.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

Altura de la presa	42,50 m	Área inundada	115 Has
Capacidad total de almacenamiento	17,70 Mm ³	Volumen útil	12,06 Mm ³
Nivel de fondo del Río en el sitio de la presa			1.368,57 msnm
Entrada al túnel de desviación			1.371,90 msnm
Niveles para el pozo de captación			
	Superior		1.387,27 msnm
	Inferior		1.385,08 msnm
Niveles para la captación del caudal ecológico			
	Superior		1.384,08 msnm
	Medio		1.380,00 msnm
	Inferior		1.376,08 msnm
Nivel de la cresta del rebosadero de servicio			1.408,00 msnm
Nivel de la cresta del rebosadero auxiliar			1.410,50 msnm

Nivel de la cresta de la presa	1.412,00 msnm
Nivel superior del parapeto de la presa	1.413,00 msnm
Nivel de corona de diques de cierre	1.413,00 msnm

2.2 CARACTERÍSTICAS Y CONDICIONES DE OPERACIÓN

Para el manejo y control de los caudales de descarga del Embalse SARA-BRUT se dispone de los siguientes medios de evacuación:

Sistema de conducción de agua para los acueductos. Consiste en una derivación en 28" en la tubería de 36" para conducir el agua hacia el acueducto regional; en el tramo final, aguas abajo de la derivación, se encuentran una válvula de guarda (válvula Mariposa de 24" de diámetro) y una válvula de control (tipo Howell Bunger de 20" de diámetro), requeridas para la operación de la descarga de fondo.

Sistema de suministro de caudal ecológico. Consta de una tubería de 10" de diámetro que se encarga de descargar el agua a una cuneta que la lleva de vuelta al cauce del Río Pescador; ésta tubería tiene dos válvulas de compuerta de 10" que sirven como válvula de guarda y de control.

Rebosadero de servicio. Corresponde a una estructura que consta de una gola con cresta redondeada, localizada a la cota 1.408,00 msnm, un canal de rebose de 12 m de ancho y una estructura terminal en salto de esquí. La función de este rebosadero es la de evacuar por sí solo las crecientes con períodos de retorno de hasta 1.000 años.

Rebosadero auxiliar. Consiste en un canal trapezoidal de 105 m de ancho en su base, excavado a la cota 1.410,00 msnm, controlado por un muro de gaviones que funciona como un vertedero de cresta ancha y que descarga al cauce de la Quebrada Botija. El muro de gaviones tiene un ancho de 2,0 m, altura de 1,5 m y su cresta se localiza a la cota 1.410,50 msnm. Este rebosadero sólo operará al presentarse crecientes con período de recurrencia superior a 1.000 años.

La operación del Embalse está condicionada por los siguientes niveles:

Nivel máximo de operación. 1.408,00 msnm

El volumen de agua comprendido entre este nivel y el nivel mínimo es igual al volumen útil del Embalse.

Nivel mínimo de operación. 1.395,50 msnm

Este es el nivel mínimo que puede alcanzar el Embalse dentro del esquema de operación normal.

Hidro-Occidente Ltda. (*Ref. 15*), considera que este nivel es el mínimo aceptable y seguro para operación.

Nivel crítico de operación. 1.392,50 msnm

Por debajo de este nivel el Embalse no soporta ninguna demanda.

Hidro-Occidente Ltda. (*Ref. 15*), recomienda llegar a este nivel solamente para condiciones de emergencia, caso en el cual se debe tener supremo cuidado en observar las reglas de operación de válvulas y las condiciones de presión en la tubería de conducción a la entrada y a la salida del túnel Alto Trapiche.

El **Cuadro 1** presenta la información de capacidad del Embalse con respecto a la elevación, y el **Cuadro 2** los datos de caudal que es posible extraer por el sistema de suministro de caudal ecológico en función de la elevación del Embalse. Con la información de estos Cuadros se construyeron las curvas que se muestran en las **Figuras 2 y 3**.

Los **Cuadros 3 y 4** representan las curvas de capacidad de los rebosaderos de servicio y auxiliar.

2.3 CARACTERÍSTICAS DE ABASTECIMIENTO

La función del Embalse SARA-BRUT es la de regular el agua para satisfacer las siguientes demandas:

DEMANDA DE AGUA POTABLE. Demanda de agua para abastecer los Municipios de Bolívar, Roldanillo, La Unión, Toro, la Victoria, Obando, Zarzal, y el Corregimiento de Ricaurte (Municipio de Bolívar), cuyas proyecciones anuales de población en las cabeceras se indican en el **Cuadro 5**.

El cálculo de la demanda de agua considera los criterios adoptados por Acuavalle, los cuales se han usado en las diferentes etapas del Proyecto:

- Consumo per cápita : 200 l/hab/día. Este consumo indica la demanda de agua por persona y por día.
- Factor de pérdidas : 25%. Definido como la diferencia que existe entre el agua que ingresa al sistema y la que finalmente llega a las plantas de tratamiento de los Municipios abastecidos. Comprende el agua que escapa del sistema de distribución por falla en la hermeticidad de sus componentes y la que rebosa en los tanques y otras estructuras abiertas a la atmósfera por fallas en los controles de nivel (*Ref. 14*).
- Factor de Pico : 1,25. Es un factor mayorativo que se establece para tener en cuenta demandas extraordinarias que se pueden presentar durante un día del año (*Ref. 14*).

A partir de estos criterios se han definido tres tipos de consumo, los cuales están directamente relacionados con el número de habitantes de las cabeceras municipales que serán abastecidas por el Embalse:

Consumo medio diario. Correspondiente al promedio ó media aritmética de los consumos día a día del período de un año. Es equivalente a multiplicar el número de habitantes por el consumo per cápita, dividirlo por 86.400 y afectarlo por el factor de pérdidas (*Ref. 14*).

Consumo máximo diario. Definido como el día de máximo consumo de una serie de registros observados durante los 365 días del año. Se determina afectando el consumo

medio diario por el factor pico (*Ref. 14*).

Consumo máximo ponderado diario. Es el resultado de suponer que el sistema de abastecimiento lleva el caudal máximo diario de demanda de las plantas para los distintos años de operación sólo durante 14 horas, y que como consecuencia de la disminución de la demanda en horas de la noche (10 horas restantes) el caudal que fluye por el sistema es solo el 20% de la demanda máxima diaria.

En el **Cuadro 6** se listan los consumos medio, máximo y máximo ponderado diario, calculados para los años 2.003, 2.005, 2.010, 2.015, 2.020 y 2.025, de las cabeceras de los Municipios de Bolívar, Roldanillo, La Unión, Toro, Obando, Zarzal, La Victoria, y el Corregimiento de Ricaurte.

DEMANDA ECOLÓGICA. Demanda de agua para suplir los requerimientos mínimos para conservar la biodiversidad existente en el cauce del Río Pescador.

Esta demanda está fijada en 200 l/s provenientes del Embalse SARA-BRUT, según Resolución No.0545 de Junio 18 de 2.002 emitida por el Ministerio del Medio Ambiente (*Ref. 11*).

DEMANDA PARA USO AGRÍCOLA. Demanda de agua para el riego de cultivos como la caña de azúcar, cultivos semestrales, pastos y abrevaderos de animales, en el área de influencia del Río Pescador, el cual aguas abajo de la presa recibe los aportes de quebradas como Aldana, El Chocho, Berruecos y Amoladoras; éstos aportes se podrían incrementar con caudales provenientes de la operación del Embalse SARA-BRUT, en el evento de que la hidrología en la cuenca lo permita y luego de satisfacer las demandas de agua potable y ecológica.

3. SIMULACIÓN DE LA OPERACIÓN DEL EMBALSE

Una de las herramientas utilizada en la determinación de políticas de operación de embalses son los modelos de simulación.

Los modelos de simulación son la representación matemática de un fenómeno de la naturaleza, son técnicas que se usan para representar en detalle las características físicas y el comportamiento real de un sistema, a través del computador; con las simulaciones es posible analizar diversas respuestas del sistema a través de distintas entradas, brindando la posibilidad de analizar escenarios y definir la forma de operar el mismo.

Los modelos pueden ser de tipo inductivo (modelos estocásticos) ó deductivos (modelos deterministas), de simulación o de optimización.

3.1 DEFINICIÓN Y CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL MODELO DE SIMULACIÓN

El objetivo de simular el comportamiento del Embalse SARA-BRUT, es buscar reglas que permitan garantizar el suministro de agua potable a los Municipios objetivo del Proyecto y el caudal necesario para la conservación de la vida acuática, considerando además los caudales eventuales que se puedan extraer para complementar el agua disponible para cubrir las demandas de uso agrícola, aguas abajo del Embalse, cuando la hidrología lo permita.

Para llevar a cabo la simulación de la operación del Embalse se construyó un modelo utilizando la herramienta Macros de Microsoft Excell, el cual tiene como base fundamental la ejecución de un balance diario entre el caudal afluente y las demandas que se abastecerán con el Embalse; las restricciones principales involucradas en este modelo corresponden a la conservación de masa (ecuación de continuidad), niveles de operación,

capacidad de las estructuras y obligaciones legales establecidas en la Licencia Ambiental otorgada por el Ministerio del Medio Ambiente para la ejecución del Proyecto SARA-BRUT.

A continuación se relacionan las componentes y variables que hacen parte del modelo:

1. Año. Número de años de información.
2. Mes. Número de meses correspondientes a cada año.
3. Fecha de registro. Fecha de medición de caudal en el Río Pescador.
4. Caudal afluente al Embalse (m³/s). Caudal de entrada al Embalse.
5. Nivel del Embalse al inicio del día (msnm).
6. Volumen acumulado al inicio del día (m³). Equivalente al volumen acumulado al final del día anterior.
7. Población (No. Habitantes). Total de habitantes en los 7 Municipios y el Corregimiento que se abastecerán del Embalse.
8. Caudal acueductos (m³/s). Corresponde al caudal para abastecimiento de los acueductos y varía de acuerdo al criterio que se adopte: Consumo medio diario, máximo diario ó máximo ponderado diario.
9. Caudal ecológico (m³/s). Corresponde al caudal que es posible extraer del Embalse por el sistema de suministro de caudal ecológico, para satisfacer la demanda ecológica.
10. Caudal total a derivar del Embalse (m³/s). Equivalente al caudal total que se debe extraer del Embalse para satisfacer la demanda de los acueductos, diversidad acuática y de ser posible para otros usos.
11. Caudal total efluente del Embalse (m³/s). Es el caudal que es posible extraer de acuerdo a condiciones establecidas y existentes.
12. Caudal vertido del Embalse (m³/s). Se considera como caudal vertido a las cantidades que se deben evacuar del Embalse si se supera el nivel máximo de operación.
13. Contador vertimientos. Número de días con vertimiento.
14. Volumen acumulado al final del día (m³). Hace referencia al volumen de agua almacenado al final de cada día.
15. Caudal déficit (m³/s). Diferencia entre el caudal total a derivar del Embalse y el caudal efluente del mismo.
16. Contador de déficit. Número de días con déficit de agua.

17. Caudal excedente de la operación del Embalse (m^3/s). Es igual al caudal disponible para otros usos.
18. Contador de déficit (acueductos).
19. Contador de déficit (caudal ecológico).
20. Contador de déficit (caudal riego).

Componentes del modelo. Las componentes del modelo son las características físicas de la presa y el vaso del Embalse y los criterios adoptados para el cálculo de la demanda de agua.

Variables del modelo. Las variables del modelo se clasifican en variables de estado, variables de entrada y variables de salida.

- ◆ Las variables de estado son aquellas que indican el nivel de agua en el Embalse y el volumen almacenado.
- ◆ Las variables de entrada son los datos de caudal afluente o de llegada al Embalse y la población ó número de habitantes de los Municipios.
- ◆ Las variables de salida están conformadas por los caudales efluentes ó de entrega del Embalse, los caudales de vertimiento y las pérdidas por evaporación e infiltración.

3.2 INFORMACIÓN NECESARIA PARA EL MODELO DE SIMULACIÓN

Para el funcionamiento del modelo de simulación se empleó la siguiente información:

- ◆ Características físicas, de operación y de abastecimiento del Embalse (ver **Numerales 2.1, 2.2, 2.3**).
- ◆ Serie de caudales diarios registrados a la entrada del Embalse (*Ref. 2, 14*).
- ◆ Curva de capacidad del embalse vs. elevación (ver **Figura 2**).
- ◆ Curva de caudal efluente por el sistema de suministro de caudal ecológico vs. elevación del Embalse (ver **Figura 3**).
- ◆ Población anual proyectada desde el año 2.003 hasta el 2.025 para las cabeceras

municipales (ver **Cuadro 5 y Figura 4**).

- ◆ Consumos de agua en las cabeceras de los Municipios (ver **Cuadro 6**).

OBSERVACIÓN: Debido a que el Embalse SARA-BRUT es relativamente pequeño, las pérdidas por evaporación e infiltración no se incluyeron en el modelo de simulación.

3.2.1 Evaluación de la serie de caudales de entrada al Embalse.

La serie de caudales medios diarios que se adoptó fue la generada y evaluada por el Consorcio HIDROPOL en el año 1.996 (*Ref. 2*); esta serie tiene una longitud de 29 años y 4 meses, iniciando en el año 1.967 hasta el mes de Abril de 1.996, la cual se completó hasta Diciembre del año 2.000 con los registros de la estación La Florida, obteniendo una serie con 34 años de información.

Con el propósito de reafirmar la confiabilidad de estos datos, se dividió la serie en tres períodos: 1.967-1.977, 1.978-1.988, 1.989-2.000, y se determinaron las características estadísticas básicas; utilizando el software integrado para modelamiento probabilístico en hidrología (MOPROHID) se sometieron los registros medios mensuales a las pruebas de independencia: Corridas, Punto Cambiante y Sperman (usando un nivel de significancia del 95%), luego se hizo un análisis de frecuencia usando las distribuciones Normal, Log Normal II y Gamma II, realizando la prueba de ajuste con los estadísticos Smirnov-Kolmogorov y Cramer Von Mises.

El **Cuadro 7** contiene las características estadísticas básicas: media, desviación estándar, varianza, coeficiente de asimetría y los valores mínimo y máximo que conforman cada una de las muestras de la serie de caudales medios mensuales del Río Pescador. Los valores de tendencia central ó medias aritméticas oscilan entre 0,70 y 2,00 m^3/s para el período comprendido entre los años 1.967-1.977; el período 1.978-1.988 registra las medias más bajas: entre 0,60 y 1,60 m^3/s ; para la muestra 1.989-2.000 las medias varían entre 0,70 y 1,50 m^3/s . Los valores de dispersión: varianza, y desviación estándar son todos inferiores a la unidad, a excepción del mes de Enero de la muestra 1.978-1.988; los valores de coeficiente de asimetría son en su mayoría superiores a cero, indicando que los caudales

medios mensuales tienden a ser mayores a la media.

Las pruebas de independencia arrojaron que los datos son independientes; los resultados de las pruebas de ajuste pueden observarse en el **Cuadro 8**, siendo la distribución de mejor ajuste la Log Normal II.

Finalmente, en este estudio se decidió trabajar con los datos comprendidos entre los años 1.975 y 2.000, es decir, una serie con una longitud de 26 años, que es amplia y contempla períodos de años húmedos y secos; se encontró que de los 9.496 registros seleccionados, 18 son superiores a 10 m³/s:

01-Ene-1.984:	26,19 m ³ /s	28-Oct-1.984:	10,71 m ³ /s
02-Ene-1.984:	12,87 m ³ /s	06-Nov-1.984:	15,03 m ³ /s
03-Ene-1.984:	12,87 m ³ /s	10-Mar-1.985:	28,44 m ³ /s
04-Ene-1.984:	12,87 m ³ /s	30-Mar-1.985:	13,50 m ³ /s
01-May-1.984:	11,16 m ³ /s	14-Nov-1.985:	31,77 m ³ /s
01-Jun-1.984:	12,87 m ³ /s	20-Abr-1.994:	21,28 m ³ /s
11-Jun-1.984:	11,79 m ³ /s	18-May-1.994:	20,16 m ³ /s
12-Jun-1.984:	16,20 m ³ /s	18-Oct-1.994:	15,44 m ³ /s
14-Jun-1.984:	12,87 m ³ /s	04-Jun-1.997:	12,20 m ³ /s

En esta zona los caudales tienden a condiciones mínimas en épocas de precipitaciones bajas o verano y a condiciones de magnitud significativa en épocas de lluvias altas o invierno; considerando que éstos eventos máximos son de corta duración y que solo cuatro de los 18 datos superiores a 10 m³/s fueron medidos directamente en la zona, se procedió a descartar los 18 datos.

El **Cuadro 9** presenta los caudales medios mensuales del Río Pescador en el sitio del Embalse SARA-BRUT y en la **Figura 5** se visualiza la variación de los mismos, destacándose los años 1.999 y 2.000 por registrar los caudales promedios anuales más altos: 2,45 y 1,77 m³/s, respectivamente; los años que registran los caudales promedios anuales más bajos son 1.977, 1.980, 1.991 y 1.992.

3.2.2 Evaluación de las demandas de agua para satisfacer con el Embalse.

La capacidad máxima de operación de las Plantas de Tratamiento de Acuavalle en los Municipios de Bolívar, Roldanillo, La Unión, Toro, La Victoria, Zarzal, Obando, y el Corregimiento de Ricaurte, es de 0,555 m³/s; actualmente los caudales de operación promedio y máximo promedio diario son 0,342 m³/s y 0,457 m³/s, respectivamente (ver **Cuadro 10**). Esta información es consecuente con el consumo máximo diario determinado al final de la vida útil del Proyecto (año 2.025), y con el consumo medio diario y máximo diario calculado con la población proyectada para los Municipios al año 2.003.

El caudal ecológico como se mencionó en el capítulo anterior, está fijado en 0,200 m³/s.

3.3 DEFINICIÓN DE ESCENARIOS DE SIMULACIÓN

Al momento de construir el modelo de simulación se contaba parcialmente con la información necesaria para su funcionamiento; sin embargo, se definieron 46 escenarios de simulación modificando las componentes y variables del modelo, los cuales sirvieron de referencia para programar futuros escenarios con la información definitiva para realizar un análisis de sensibilidad del modelo de simulación y precisar la regla de operación del Embalse SARA-BRUT.

3.3.1 Análisis de sensibilidad del modelo de simulación.

Con el propósito de evaluar la sensibilidad del modelo de simulación con respecto a las componentes del mismo, se plantearon 13 escenarios, cuya descripción y resultados se presentan en el **Cuadro 11**.

Agrupando los escenarios analizados según el tipo de consumo (escenarios 1 a 8), se observa que si se varía el estado inicial del Embalse, los resultados no presentan diferencias significativas entre sí; los escenarios 9, 10 y 11, muestran porcentaje de fallas que se duplica como consecuencia de considerar la población constante; los escenarios 12

y 13 incluyen una dotación per cápita igual a 180 l/hab/día, que es la justificada en el RAS; sin embargo, se observan diferencias en el porcentaje de fallas en los dos escenarios porque el tipo de consumo que se adoptó no es el mismo: consumo medio y consumo máximo, respectivamente.

De acuerdo a lo anterior, se concluyó que las componentes y algunas variables del modelo de simulación deben considerarse de la siguiente manera:

Estado inicial del embalse: 1.408,00 msnm
Consumo per cápita: 200 l/hab/día, tomando como dotación máxima 180 l/hab/día y un incremento de 20 l/hab/día por considerar el consumo para el riego de huertas caseras
Tipo de consumo: Medio diario
Población: Creciente

3.3.2 Definición de escenarios de simulación.

Con el objetivo de simular el comportamiento del Embalse que se tendría con las condiciones hidrológicas descritas en el numeral 3.2.1 de este informe, los resultados del análisis de sensibilidad del modelo e involucrando restricciones para su operación, se realizaron varias simulaciones de posibles escenarios, los cuales se describen en el **Cuadro 12**.

3.3.3 Resultados obtenidos con los escenarios de simulación.

En el **Cuadro 13** y las **Figuras 6 a 12** es posible observar los resultados de los escenarios descritos en el Cuadro 12. En términos generales, las simulaciones 1 a 7 presentan una confiabilidad igual o superior al 98% para el abastecimiento de los acueductos de las poblaciones objetivo del Proyecto.

Las simulaciones 1, 2, 4, 5 y 7 presentan fallas inferiores al 10%, registradas cuando se incrementa el caudal efluente para satisfacer otros usos diferentes al de los acueductos,

aguas abajo de la presa, y operando el Embalse entre los niveles mínimo y crítico establecidos; el escenario 3 es el que muestra mayor porcentaje de fallas (17,01%) y el escenario 6 el más bajo (0,60%). Debido a esto, los mayores vertimientos se dan en el escenario 6 (ver Cuadro 13).

Escenario 1. Considerando el Embalse SARA-BRUT como complemento para los Municipios de Toro y La Unión porque es posible que éstos se abastezcan en un 50% con los sistemas que cuentan en la actualidad y como única fuente de abastecimiento para los otros Municipios, no se presenta ninguna falla por encima del nivel mínimo normal de operación, establecido en 1.395,50 msnm. Con las condiciones de este escenario no hay déficit para suplir las demandas de los acueductos y la ecológica.

El porcentaje de fallas que se registra corresponde al déficit de agua si se desea suplir otras demandas como el riego, se presenta cuando el Embalse se encuentra entre los niveles crítico y mínimo normal de operación y es igual a 4,16%. El caudal máximo efluente durante 341 días en 26 años de simulación, es igual a 0,884 m³/s y está conformado por 0,409 m³/s para abastecimiento de la población proyectada al cabo de 26 años de operación, 0,200 m³/s para la demanda ecológica y 0,275 m³/s que el sistema permite sustraer para otros usos aguas abajo del Embalse, cuando el nivel de operación es el máximo (1.408,00 msnm) y si se cumple con la demanda de los acueductos.

El porcentaje de vertimientos es igual a 18,62%, es decir, 1.768 días en los cuales el Embalse supera el nivel máximo de operación y se evacuan cantidades que pueden alcanzar los 9,0 m³/s.

Escenario 2. Este escenario toma como única fuente de abastecimiento para los Municipios al Embalse SARA-BRUT. Con una dotación per cápita de 200 l/hab/día y un consumo medio diario de los acueductos entre 0,354 y 0,487 m³/s, los resultados muestran que 98% del tiempo se cumple con el requerimiento de la demanda de agua de los acueductos y la ecológica.

El porcentaje de fallas total que se presenta, igual a 6,02, indica:

- ◆ Que durante 572 días en 26 años de simulación, hay déficit de agua para otros usos diferentes al consumo de los acueductos y al requerimiento ecológico aguas abajo del Embalse, cuando el mismo se opera entre el nivel crítico y mínimo normal (1.392,50 – 1.395,50 msnm).
- ◆ Que sólo 6 días de los 572 con falla, registran déficit de agua para los acueductos porque el nivel del Embalse ha descendido hasta el establecido como crítico.
- ◆ Que 12 días de los 572 con falla, presentan déficit de agua para la demanda ecológica.

Con las condiciones establecidas en este escenario, si el nivel del Embalse es 1.408,00 msnm, el caudal máximo efluente es 0,962 m³/s. El porcentaje de vertimientos es igual a 15,82%.

Escenario 3. Este escenario conserva los criterios establecidos para el escenario 1, con la diferencia de que la simulación se inició con caudales afluentes en año húmedo, el Embalse vacío (cota 1.392,50 msnm) y 100% de abastecimiento para las poblaciones de Toro y La Unión. Los resultados muestran una confiabilidad de suministro para los acueductos igual a 98%.

Las fallas presentadas son de 17,01%, equivalentes a:

- ◆ 1.615 días en 26 años sin posibilidad de extraer agua para otros usos (diferentes al doméstico y ecológico) aguas abajo del Embalse, en condiciones de operación entre los niveles mínimo y crítico.
- ◆ 30 días dentro de los 1.615 con registro de falla, muestran déficit de agua para los acueductos si el nivel del Embalse desciende hasta 1.392,50 msnm.
- ◆ 59 días dentro de los 1.615 con falla presentan déficit de agua para la demanda ecológica.

Con las características establecidas en este escenario, si el Embalse llega al nivel máximo de operación (1.408,00 msnm), el caudal máximo efluente es de 0,962 m³/s. 1.321 días de 9.496 simulados, señalan que el Embalse supera los 1.408,00 msnm, evacuando cantidades hasta de 9,0 m³/s.

Escenario 4. Este escenario conserva los criterios establecidos para el escenario 2, con la diferencia de que la simulación se inició con caudales afluentes en año húmedo y el Embalse vacío (cota 1.392,50 msnm). Los resultados manifiestan una confiabilidad del 98% para el abastecimiento de los acueductos con el Embalse SARA-BRUT.

El porcentaje de fallas presentadas es igual a 7,81 y corresponde a:

- ◆ 742 días en 26 años con déficit de agua para otros usos aguas abajo del Embalse, cuando los niveles de operación se encuentran entre el crítico y mínimo normal establecido (1.392,50 – 1.395,50 msnm).
- ◆ 16 días de los 742 con falla, presentan déficit de agua para los acueductos si el nivel del Embalse es igual a 1.392,50 msnm.
- ◆ De 742 días con falla, 31 presentan déficit para la demanda ecológica.

El porcentaje de días con vertimiento es de 14,48%.

Escenario 5. En este escenario todas las poblaciones se abastecen completamente del Embalse y se dispuso un caudal ecológico igual a 0,300 m³/s durante los meses de Abril, Mayo, Junio, Octubre, Noviembre y Diciembre; e igual al máximo permitido por el sistema según el nivel del Embalse, en los meses de Enero, Febrero, Marzo, Julio, Agosto y Septiembre (meses de verano). Los resultados obtenidos muestran que el 100% del tiempo se satisfacen las necesidades de los acueductos y la demanda ecológica.

El porcentaje de fallas que se registra, igual a 7,01, es cuando la operación del Embalse se realiza entre el nivel mínimo normal (1.395,50 msnm) y el nivel crítico (1.392,50 msnm) e indica que hay déficit de agua si se pretende complementar el agua para otros usos aguas abajo del Embalse.

El 20,67% del tiempo, es decir, durante 1.963 días en 26 años de simulación, el Embalse supera el nivel máximo de operación (1.408,00 msnm), registrando vertimientos.

Escenario 6. Con la serie hidrológica adoptada y bajo las características de este escenario, es decir, asumiendo que todas las poblaciones se abastecen 100% del Embalse, con una

dotación per cápita igual a 200 l/hab/día, consumo medio diario entre 0,354–0,487 m³/s, y descargando constantemente 0,300 m³/s por el sistema de suministro de caudal ecológico, se puede concluir que no hay déficit de agua para consumo humano y conservación de la vida acuática, y que hay 0,100 m³/s disponibles constantemente para otros usos aguas abajo del Embalse, independiente del nivel que se tenga en el Embalse y si la demanda de los acueductos no se incrementa.

De 9.496 días simulados, 2966 equivalentes al 31,55% tienen vertimiento.

Escenario 7. Este escenario conserva los criterios establecidos para el escenario 5, con la diferencia de que en este escenario se decidió que entre los niveles mínimo y crítico de operación sólo se realicen descargas equivalentes a la demanda ecológica, fijada en 0,200 m³/s. El porcentaje de fallas calculado es de 1,98 y es equivalente a 188 días en los cuales hay déficit de agua porque el nivel del Embalse ha descendido hasta el mínimo normal de operación (1.395,50 msnm).

4. REGLA DE OPERACIÓN DEL EMBALSE

El comportamiento del Embalse que se evidencia en las Figuras 6 a 12 es el de una regulación multianual y es el resultado de identificar períodos de varios años de caudales críticos; sin embargo, como el propósito es realizar una regulación anual estacional (almacenar agua en los meses lluviosos para usarla en los meses de verano), ésta debe estar sujeta a la posibilidad de ocurrencia de años secos consecutivos. Cabe resaltar que el caudal promedio afluente indicado en el Cuadro 13, igual a 0,976 m³/s, corresponde al promedio multianual de la serie de caudales de entrada al Embalse, por lo tanto, no siempre debe usarse como referencia.

REGLA DE OPERACIÓN. Cuando el caudal que ingresa al Embalse es igual o superior que la demanda, se satisface la meta con el caudal afluente y se almacena el agua excedente. Si el caudal que ingresa es inferior a la demanda, se utiliza agua del Embalse para cumplir con el objetivo, en este caso debe verificarse que el Embalse cuente con el volumen almacenado suficiente para cumplir con la demanda.

RESTRICCIONES Y CRITERIOS DE OPERACIÓN.

- ◆ El nivel máximo de operación del Embalse es 1.408,00 msnm, a partir del cual el recurso se evacua a través de los rebosaderos.
- ◆ Los niveles mínimo normal y crítico de operación del Embalse son 1.395,50 msnm y 1.392,50 msnm, respectivamente. En situaciones extremas se podrá operar el Embalse dentro de este rango para satisfacer sólo la demanda de los acueductos y la ecológica.
- ◆ Satisfacer la demanda de los acueductos como prioridad y cumplir con la obligación dispuesta por la Licencia Ambiental: En el Río Pescador, aguas abajo e inmediatamente después de la presa mantener 0,200 m³/s.
- ◆ Tener presente las reglas de operación de las válvulas instaladas en los sistemas de conducción de agua para los acueductos y el cauce del Río Pescador, además de las limitaciones de presión en un tramo de la conducción.
- ◆ Considerar que el Embalse SARA-BRUT se puede operar bajo la condición de

complemento para el abastecimiento normal por gravedad que existe actualmente en los Municipios, lo cual garantizará la operación segura del Embalse y el cumplimiento de lo estipulado en la Licencia Ambiental, si se presentan situaciones críticas.

- En los meses de invierno se debe garantizar un caudal efluente del Embalse por el sistema de suministro de caudal ecológico igual a $0,300 \text{ m}^3/\text{s}$, de los cuales $0,200 \text{ m}^3/\text{s}$ serán para cumplir con el requerimiento ecológico y $0,100 \text{ m}^3/\text{s}$ serán para otros usos aguas abajo de la presa.
- Garantizando el suministro de caudal demandado por los acueductos en los meses de verano, el caudal efluente por el sistema de suministro de caudal ecológico debe ser el máximo permitido de acuerdo con el nivel en que se encuentre el Embalse y las necesidades identificadas aguas abajo de la presa. Este caudal excedente de la operación normal del Embalse podrá ser usado para el beneficio de los usuarios actuales y potenciales de la zona.
- Se debe operar el Embalse con visión de mediano plazo y con análisis de escenarios hidrológicos para minimizar la posibilidad de extremos como usar toda el agua disponible de manera inmediata, sin proyectar el futuro, ó usar cantidades inferiores con el propósito de asegurar mayores almacenamientos y suministros futuros.

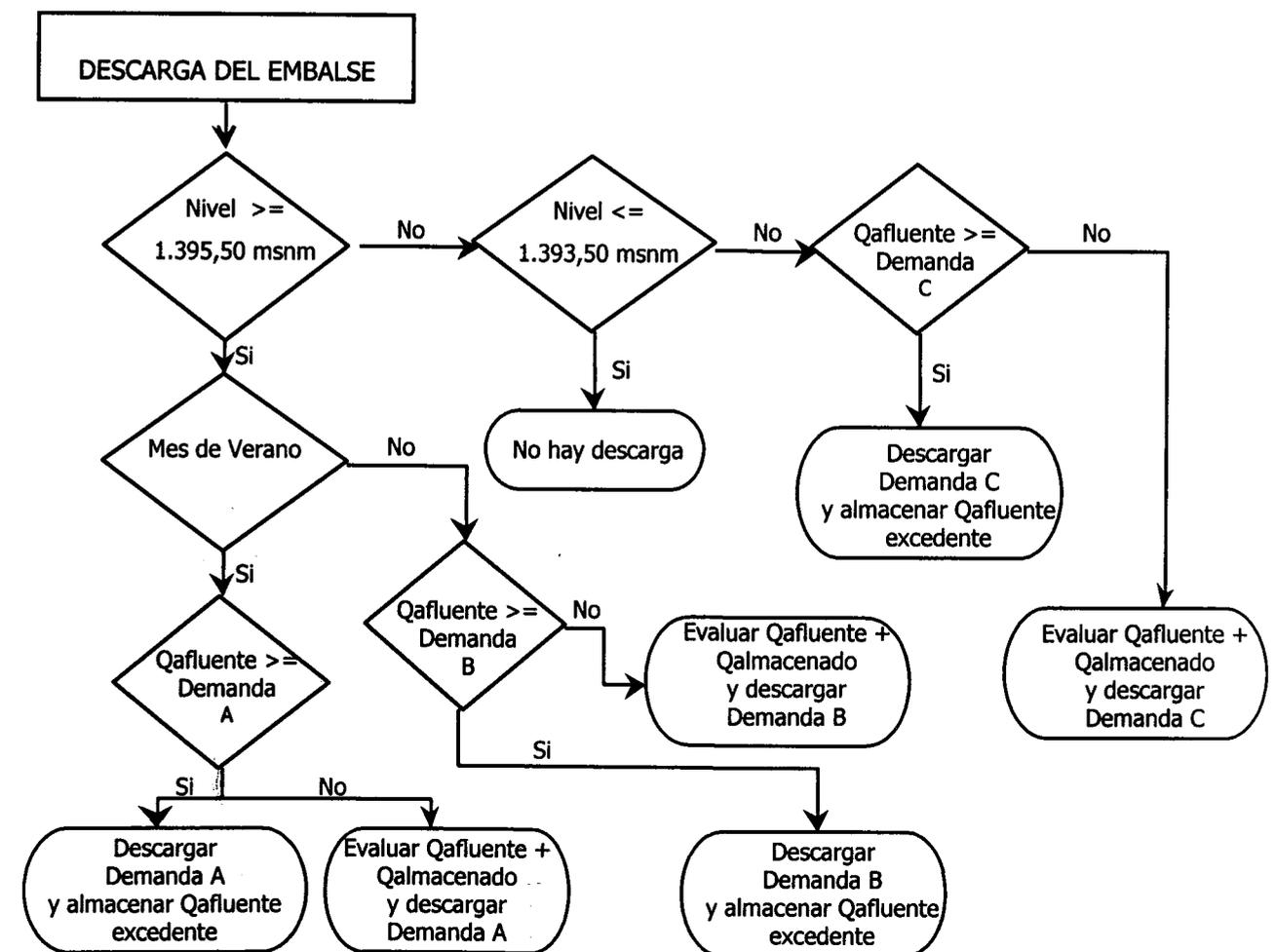
RECOMENDACIONES DE OPERACIÓN.

- Determinar con el mejor nivel de confiabilidad los valores de caudales diarios afluentes al Embalse empleando para ello varias metodologías.
- Instalar una estación de medición, con la finalidad de obtener la información de los niveles del Río Pescador en el sitio de alimentación al Embalse SARA-BRUT.
- Crear un comité evaluador de la operación del Embalse SARA-BRUT, donde se defina con la mayor confiabilidad posible el caudal medio diario efluente.
- Como situación crítica para la mayoría de los escenarios analizados se supuso que las poblaciones se beneficiarán en un 100% del Embalse; sin embargo, es importante considerar que el Embalse SARA-BRUT se puede operar bajo la condición de complemento. Es de anotar que las simulaciones realizadas en el presente estudio para definir la regla de operación, involucraron el criterio de consumo promedio diario, cuyo cálculo para todas las poblaciones osciló entre $0,354 \text{ m}^3/\text{s}$ y $0,487 \text{ m}^3/\text{s}$.
- Es muy importante diseñar una estrategia de información sobre la política de operación

para las comunidades aledañas al Embalse.

En el siguiente esquema se sintetiza la regla de operación del Embalse, donde:

- Demanda A : Caudal necesario para satisfacer la demanda de los acueductos, ecológica y para otros posibles usos aguas abajo del Embalse.
- Demanda B : Caudal necesario para satisfacer la demanda de los acueductos y la demanda ecológica incrementada en $0,100 \text{ m}^3/\text{s}$.
- Demanda C : Caudal necesario para satisfacer la demanda de los acueductos y la demanda ecológica.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANÁLISIS DEL ESTADO ACTUAL DE AGUAS SUPERFICIALES DEL RÍO PESCADOR. Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, Unidad de Manejo de Cuenca Río Frío – Piedras – Pescador. Río Frío, Colombia. Noviembre de 2.002.
2. MEMORANDO DE DISEÑO No.P-1: HIDROLOGÍA DEL RÍO PESCADOR EN EL SITIO DE PRESA Y DIMENSIONAMIENTO DEL EMBALSE. Consorcio HIDROPOL (Hidro-Occidente Ltda. – Ponce de León y Asociados S.A.). Santiago de Cali, Colombia. Junio de 1.996.
3. MEMORANDO DE DISEÑO No.P-2: HIDROGRAMAS DE DISEÑO Y CRECIENTE MÁXIMA PROBABLE DEL RÍO PESCADOR. Consorcio HIDROPOL (Hidro-Occidente Ltda. – Ponce de León y Asociados S.A.). Santiago de Cali, Colombia. Junio de 1.996.
4. MEMORANDO DE DISEÑO No.P-3: ESTUDIO DE SEDIMENTOS. Consorcio HIDROPOL (Hidro-Occidente Ltda. – Ponce de León y Asociados S.A.). Santiago de Cali, Colombia. Junio de 1.996.
5. MEMORANDO DE DISEÑO No.P-4: VOLÚMENES DEL EMBALSE, NIVELES DE OPERACIÓN Y UBICACIÓN DE ESTRUCTURAS. Consorcio HIDROPOL (Hidro-Occidente Ltda. – Ponce de León y Asociados S.A.). Santiago de Cali, Colombia. Junio de 1.996.
6. MEMORIA DE DISEÑO HIDRÁULICO DEL SISTEMA DE CAPTACIÓN Y DESCARGA DE FONDO. INGETEC S.A (Ingenieros Consultores). Santiago de Cali, Colombia. Junio de 2.000.
7. MEMORIA DE DISEÑO HIDRÁULICO DEL SISTEMA DE REBOSE DEL PROYECTO. INGETEC S.A (Ingenieros Consultores). Santiago de Cali, Colombia. Junio de 2.000.
8. MODELACIÓN HIDRÁULICA DEL SISTEMA FINAL DE CONDUCCIÓN. Hidro-Occidente Ltda. Santiago de Cali, Colombia. Febrero de 2.003.
9. PLAN DE GESTIÓN SOCIAL. Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, Oficina de Integración con la Sociedad Civil. 2.003.
10. PROPUESTA DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA DEL RÍO PESCADOR. Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, Subdirección de Gestión Ambiental – Grupo de Recursos Hídricos. Santiago de Cali, Colombia. 2.001.
11. RESOLUCIONES REGLAMENTARIAS. Ministerio del Medio Ambiente. Colombia. 1.999 – 2.002.
12. REGLAMENTACIÓN Ó DISTRIBUCIÓN DE LAS AGUAS DEL RÍO PESCADOR. Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca. Santiago de Cali, Colombia. Febrero de 1.977.
13. REVISIÓN Y DISEÑO DE LA AMPLIACIÓN DE LA CONDUCCIÓN DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO REGIONAL DE AGUA. INFORME DE DISEÑO. Hidro-Occidente Ltda. Santiago de Cali, Colombia. Abril de 1.999.
14. SIMULACIÓN DE LA OPERACIÓN DEL EMBALSE. TOMOS I, II y III. Carlos Enrique Madriñán. Santiago de Cali, Colombia. Septiembre de 2.002.
15. SISTEMAS DE ALIVIO DE PRESIÓN. ANÁLISIS Y RECOMENDACIONES. Hidro-Occidente Ltda. Santiago de Cali, Colombia. Noviembre de 2.002.

CUADROS

Cuadro 1. Información de Capacidad del Embalse vs. Elevación

Elevación (msnm)	Volumen (Mm ³)	Elevación (msnm)	Volumen (Mm ³)
1.407,60	17,71	1.390,60	3,17
1.407,10	17,15	1.390,10	2,95
1.406,60	16,60	1.389,60	2,77
1.406,10	16,04	1.389,10	2,56
1.405,60	15,48	1.388,60	2,37
1.405,10	14,93	1.388,10	2,19
1.404,60	14,37	1.387,60	2,01
1.404,10	13,88	1.387,10	1,84
1.403,60	13,39	1.386,60	1,70
1.403,10	12,90	1.386,10	1,56
1.402,60	12,41	1.385,60	1,43
1.402,10	11,92	1.385,10	1,31
1.401,60	11,42	1.384,60	1,20
1.401,10	10,93	1.384,10	1,09
1.400,60	10,44	1.383,60	0,99
1.400,10	9,98	1.383,10	0,89
1.399,60	9,46	1.382,60	0,80
1.399,10	9,04	1.382,10	0,71
1.398,60	8,60	1.381,60	0,64
1.398,10	8,21	1.381,10	0,57
1.397,60	7,82	1.380,60	0,51
1.397,10	7,43	1.380,10	0,43
1.396,60	7,04	1.379,60	0,38
1.396,10	6,63	1.379,10	0,33
1.395,60	6,30	1.378,60	0,29
1.395,10	5,91	1.378,10	0,24
1.394,60	5,52	1.377,60	0,20
1.394,10	5,20	1.377,10	0,16
1.393,60	4,87	1.376,60	0,13
1.393,10	4,53	1.376,10	0,10
1.392,60	4,21	1.375,60	0,07
1.392,10	3,97	1.375,10	0,06
1.391,60	3,70	1.374,60	0,04
1.391,10	3,43	1.369,60	0,00

FUENTE: Memorando 1190-002-004-0935-02 Enviado por la Oficina del Proyecto SARA-BRUT al Grupo de Recursos Hídricos.

NOTA: Los datos de elevación fueron ajustados al sistema de elevaciones BRUT.

Sistema de elevaciones BRUT = Sistema de elevaciones IGAC - 0,40 m

Cuadro 2. Información de caudal máximo efluente por el sistema de suministro de caudal ecológico, en función de la elevación del Embalse

Elevación (msnm)	Caudal (l/s)
1.375,00	130
1.376,00	150
1.380,00	218
1.382,00	240
1.385,00	280
1.387,00	300
1.390,00	330
1.392,00	350
1.395,00	378
1.397,00	391
1.400,00	415
1.402,00	430
1.405,00	452
1.408,00	480

FUENTE: Elaboración propia, según Memorando CVC 1190-002-004-0935-02

Cuadro 3. Curva de capacidad del rebosadero de servicio

Nivel Embalse (msnm)	C vertedero Servicio	L vertedero Servicio (m)	Caudal vertedero Servicio (m³/s)
1.408,00	1,70	12,00	0,0
1.408,20	1,73	11,96	1,9
1.408,40	1,76	11,92	5,3
1.408,60	1,79	11,88	9,9
1.408,80	1,82	11,84	15,4
1.409,00	1,85	11,80	21,8
1.409,20	1,87	11,76	29,0
1.409,40	1,90	11,72	36,9
1.409,60	1,93	11,68	45,5
1.409,80	1,95	11,64	54,8
1.410,00	1,97	11,60	64,8
1.410,20	2,00	11,56	75,3
1.410,40	2,02	11,52	86,4
1.410,60	2,04	11,48	98,1
1.410,80	2,06	11,44	110,4
1.411,00	2,08	11,40	123,1
1.411,20	2,10	11,36	136,4
1.411,40	2,11	11,32	150,1
1.411,60	2,13	11,28	164,2
1.411,80	2,15	11,24	178,8
1.412,00	2,16	11,20	193,8
1.412,20	2,18	11,16	209,1
1.412,40	2,19	11,12	224,8
1.412,60	2,20	11,08	240,8
1.412,80	2,21	11,04	257,1
1.413,00	2,23	11,00	273,7

FUENTE: Referencia Bibliográfica No.7 del presente Informe.

Cuadro 4. Curva de capacidad del rebosadero auxiliar

Nivel Embalse (msnm)	H1 (m)	Cs	Caudal vertedero Auxiliar (m³/s)
1.410,50	0,00	0,00	0,0
1.410,67	0,17	1,46	10,5
1.410,99	0,49	1,46	52,5
1.411,14	0,64	1,46	78,8
1.411,27	0,77	1,46	105,0
1.411,50	1,00	1,48	157,5
1.411,71	1,21	1,51	210,0
1.411,89	1,39	1,54	262,5
1.412,05	1,55	1,57	315,0
1.412,34	1,84	1,61	420,0
1.412,60	2,10	1,67	525,0
1.412,84	2,34	1,70	630,0
1.413,05	2,55	1,73	735,0
1.413,26	2,76	1,77	840,0

FUENTE: Referencia Bibliográfica No.7 del presente Informe.

Cuadro 5. Población anual proyectada para las cabeceras de los Municipios de Bolívar, Roldanillo, La Unión, Toro, La Victoria, Zarzal, Obando, y el Corregimiento de Ricaurte

Año	Población (No. De Habitantes)								
	Bolívar	Roldanillo	La Unión	Toro	La Victoria	Zarzal	Obando	Ricaurte	TOTAL
2.003	3.396	24.898	24.201	10.556	10.099	26.421	13.988	1.382	114.941
2.004	3.417	25.384	24.779	10.627	10.125	26.588	14.268	1.417	116.605
2.005	3.437	25.874	25.364	10.695	10.150	26.756	14.553	1.454	118.283
2.006	3.458	26.368	25.955	10.762	10.175	26.923	14.771	1.492	119.904
2.007	3.479	26.867	26.552	10.827	10.200	27.090	14.993	1.530	121.538
2.008	3.500	27.369	27.155	10.890	10.225	27.259	15.218	1.570	123.186
2.009	3.521	27.876	27.765	10.952	10.251	27.428	15.446	1.610	124.849
2.010	3.542	28.387	28.380	11.011	10.276	27.599	15.678	1.652	126.525
2.011	3.563	28.901	29.002	11.069	10.301	27.768	15.913	1.693	128.210
2.012	3.584	29.420	29.631	11.125	10.325	27.939	16.152	1.736	129.912
2.013	3.606	29.943	30.265	11.180	10.350	28.110	16.394	1.780	131.628
2.014	3.627	30.470	30.906	11.232	10.375	28.282	16.640	1.824	133.356
2.015	3.649	31.001	31.553	11.283	10.400	28.456	16.890	1.870	135.102
2.016	3.671	31.537	32.206	11.332	10.425	28.628	17.093	1.920	136.812
2.017	3.693	32.076	32.866	11.379	10.450	28.802	17.298	1.970	138.534
2.018	3.715	32.619	33.532	11.425	10.475	28.976	17.505	2.022	140.269
2.019	3.738	33.167	34.204	11.468	10.500	29.151	17.715	2.076	142.019
2.020	3.760	33.719	34.882	11.510	10.525	29.328	17.928	2.131	143.783
2.021	3.783	34.274	35.567	11.550	10.550	29.503	18.151	2.186	145.564
2.022	3.805	34.834	36.258	11.588	10.575	29.680	18.377	2.242	147.359
2.023	3.828	35.938	36.955	11.625	10.600	29.857	18.606	2.300	149.709
2.024	3.851	35.966	37.658	11.659	10.625	30.035	18.838	2.359	150.991
2.025	3.874	36.538	38.368	11.692	10.650	30.215	19.072	2.420	152.829

FUENTE: Referencia Bibliográfica No.13 del presente Informe.

Cuadro 6. Consumos medio diario, máximo diario y máximo ponderado diario, en las cabeceras de los Municipios de Bolívar, Roldanillo, La Unión, Toro, La Victoria, Zarzal, Obando, y el Corregimiento de Ricaurte

Municipio	2003			2005			2010		
	Medio	Máximo	Máximo Ponderado	Medio	Máximo	Máximo Ponderado	Medio	Máximo	Máximo Ponderado
Bolívar	10,5	13,1	8,7	10,6	13,3	8,8	10,9	13,7	9,1
Roldanillo	76,8	96,1	64,0	79,9	99,8	66,5	87,6	109,5	73,0
La Unión	74,7	93,4	62,2	78,3	97,9	65,2	87,6	109,5	73,0
Toro	32,6	40,7	27,2	33,0	41,3	27,5	34,0	42,5	28,3
La Victoria	31,2	39,0	26,0	31,3	39,2	26,1	31,7	39,6	26,4
Zarzal	81,5	101,9	68,0	82,6	103,2	68,8	85,2	106,5	71,0
Obando	43,2	54,0	36,0	44,9	56,1	37,4	48,4	60,5	40,3
Ricaurte	4,3	5,3	3,6	4,5	5,6	3,7	5,1	6,4	4,2
TOTAL	355	443	296	365	456	304	391	488	325
Municipio	2015			2020			2025		
	Medio	Máximo	Máximo Ponderado	Medio	Máximo	Máximo Ponderado	Medio	Máximo	Máximo Ponderado
Bolívar	11,3	14,1	9,4	11,6	14,5	9,7	12,0	14,9	10,0
Roldanillo	95,7	119,6	79,7	104,1	130,1	86,7	112,8	141,0	94,0
La Unión	97,4	121,7	81,2	107,7	134,6	89,7	118,4	148,0	98,7
Toro	34,8	43,5	29,0	35,5	44,4	29,6	36,1	45,1	30,1
La Victoria	32,1	40,1	26,7	32,5	40,6	27,1	32,9	41,1	27,4
Zarzal	87,8	109,8	73,2	90,5	113,1	75,4	93,3	116,6	77,7
Obando	52,1	65,2	43,4	55,3	69,2	46,1	58,9	73,6	49,1
Ricaurte	5,8	7,2	4,8	6,6	8,2	5,5	7,5	9,3	6,2
TOTAL	417	521	347	444	555	370	472	590	393

FUENTE: Elaboración propia.

Cuadro 7. Características estadísticas básicas de la serie de caudales medios mensuales del Río Pescador en el sitio del Embalse SARA-BRUT. Período de registros: 1.967-2.000

Característica	Período de registros: 1.967-1.977											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Media	1,17	0,94	1,11	0,96	1,19	1,17	0,76	0,72	0,91	1,30	1,97	1,35
Desviación Estándar	0,65	0,50	0,76	0,42	0,48	0,41	0,22	0,20	0,49	0,43	0,93	0,86
Varianza	0,42	0,25	0,58	0,18	0,23	0,17	0,05	0,04	0,24	0,19	0,86	0,74
Coefficiente de Asimetría	0,86	1,11	1,34	0,90	0,58	-0,29	-0,70	-0,60	1,79	-0,64	0,57	1,54
Valor Mínimo	0,36	0,36	0,29	0,34	0,48	0,43	0,33	0,34	0,43	0,56	0,73	0,50
Valor Máximo	2,25	2,03	2,76	1,81	2,03	1,79	1,06	0,99	2,17	1,81	3,65	3,26
Característica	Período de registros: 1.978-1.988											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Media	1,03	0,62	0,77	0,86	1,14	1,10	0,74	0,61	0,70	1,15	1,57	1,17
Desviación Estándar	1,05	0,26	0,46	0,28	0,48	0,68	0,37	0,17	0,23	0,45	0,90	0,56
Varianza	1,11	0,07	0,21	0,08	0,23	0,47	0,13	0,03	0,05	0,20	0,81	0,32
Coefficiente de Asimetría	2,89	1,26	2,67	-0,42	1,03	1,91	0,98	0,46	0,72	0,71	0,58	1,41
Valor Mínimo	0,35	0,34	0,38	0,41	0,62	0,45	0,37	0,41	0,38	0,59	0,59	0,52
Valor Máximo	4,08	1,23	2,08	1,26	2,14	2,86	1,36	0,92	1,09	2,06	2,94	2,52
Característica	Período de registros: 1.989-2000											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Media	1,02	0,96	1,01	1,23	1,49	1,30	0,87	0,70	0,79	1,15	1,34	1,19
Desviación Estándar	0,60	0,74	0,67	0,65	0,76	0,60	0,42	0,31	0,45	0,59	0,92	0,73
Varianza	0,35	0,55	0,45	0,42	0,58	0,37	0,17	0,09	0,20	0,35	0,85	0,54
Coefficiente de Asimetría	0,77	2,34	1,35	1,19	1,33	1,23	1,70	1,91	1,85	0,73	1,25	1,01
Valor Mínimo	0,37	0,32	0,38	0,56	0,69	0,66	0,43	0,36	0,40	0,29	0,48	0,48
Valor Máximo	2,15	3,04	2,61	2,70	3,15	2,70	1,93	1,53	1,93	2,44	3,40	2,69

FUENTE: Elaboración propia.

Cuadro 8. Pruebas de ajuste para las distribuciones de la serie de caudales medios mensuales del Río Pescador en el sitio del Embalse SARA-BRUT, Período de registros: 1.967-2.000

Mes	Distribución NORMAL		Distribución LOG NORMAL II		Distribución GAMMA II		Valor Tabulado	
	Valor Calculado		Valor Calculado		Valor Calculado			
	Smirnov Kolmogorov	Cramer Von Mises	Smirnov Kolmogorov	Cramer Von Mises	Smirnov Kolmogorov	Cramer Von Mises	Smirnov Kolmogorov	Cramer Von Mises
Enero	0,233	0,362	0,120	0,067	0,164	0,138	0,232	0,461
Febrero	0,189	0,337	0,089	0,043	0,119	0,103	0,232	0,461
Marzo	0,206	0,367	0,113	0,062	0,152	0,137	0,232	0,461
Abril	0,163	0,193	0,074	0,035	0,103	0,061	0,232	0,461
Mayo	0,133	0,178	0,062	0,035	0,087	0,064	0,232	0,461
Junio	0,110	0,103	0,049	0,023	0,068	0,029	0,232	0,461
Julio	0,107	0,136	0,060	0,026	0,070	0,047	0,232	0,461
Agosto	0,084	0,051	0,101	0,060	0,079	0,043	0,232	0,461
Septiembre	0,169	0,286	0,104	0,081	0,127	0,132	0,232	0,461
Octubre	0,104	0,069	0,154	0,112	0,144	0,095	0,232	0,461
Noviembre	0,136	0,161	0,087	0,092	0,108	0,103	0,232	0,461
Diciembre	0,153	0,268	0,081	0,052	0,112	0,098	0,232	0,461

FUENTE: Elaboración propia.

NOTA: Los valores sombreados corresponden a la distribución de mejor ajuste.

Cuadro 9. Caudal medio mensual del Río Pescador en el sitio del Embalse SARA-BRUT. Período de registros: 1.975 - 2.000

Año	Caudal medio mensual, en m ³ /s												
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
1.975	0,96	1,13	1,33	0,80	1,01	1,17	0,91	0,88	1,05	1,45	2,36	3,26	1,36
1.976	1,200	0,914	0,788	0,804	0,859	0,775	0,545	0,464	0,426	0,562	0,725	0,503	0,714
1.977	0,363	0,362	0,294	0,341	0,484	0,430	0,333	0,336	0,426	1,190	1,020	0,595	0,514
1.978	0,477	0,586	0,660	0,923	1,065	0,763	0,724	0,533	0,499	0,670	0,629	0,753	0,690
1.979	0,352	0,364	0,543	1,256	1,132	0,913	0,523	0,562	0,590	1,375	1,228	0,825	0,805
1.980	0,739	0,619	0,507	0,536	0,645	0,583	0,492	0,408	0,380	0,589	0,594	0,639	0,561
1.981	0,433	0,410	0,710	0,983	1,785	1,242	1,214	0,916	0,797	2,061	2,270	1,372	1,183
1.982	1,338	0,855	0,761	1,158	1,440	0,450	0,450	0,450	0,597	1,092	0,984	0,973	0,879
1.983	0,756	0,720	0,792	0,987	1,040	1,080	0,365	0,414	0,660	0,851	0,888	1,312	0,822
1.984	2,149	1,232	0,885	1,053	1,820	1,529	1,280	0,801	1,080	1,309	2,562	1,396	1,425
1.985	0,955	0,662	1,114	0,729	1,028	1,272	0,607	0,566	0,870	0,960	1,938	1,060	0,980
1.986	0,984	0,636	0,659	0,920	0,659	0,744	0,613	0,761	0,571	0,755	0,940	0,515	0,730
1.987	0,543	0,340	0,444	0,414	0,946	0,581	0,496	0,660	0,564	1,415	1,385	1,127	0,743
1.988	0,635	0,389	0,384	0,473	0,618	1,620	1,364	0,663	1,095	1,248	2,469	2,520	1,123
1.989	1,440	0,920	1,160	0,610	0,920	0,730	0,688	0,753	0,847	0,885	0,879	0,845	0,890
1.990	0,761	0,821	0,782	0,774	1,015	0,839	0,825	0,638	0,659	1,402	0,628	0,594	0,811
1.991	0,363	0,316	0,397	1,022	0,951	0,660	0,558	0,514	0,558	0,637	0,594	0,589	0,596
1.992	0,537	0,478	0,385	0,558	0,691	0,896	0,532	0,545	0,565	0,566	0,480	0,482	0,560
1.993	0,492	0,509	0,751	0,851	1,620	1,051	0,634	0,448	0,415	0,752	1,342	0,952	0,818
1.994	0,761	0,751	0,723	1,368	1,148	1,459	0,718	0,467	0,398	0,688	0,649	0,759	0,824
1.995	0,469	0,479	0,414	0,762	0,848	0,859	0,790	0,826	0,600	1,423	1,181	1,207	0,821
1.996	0,940	0,899	1,708	1,395	1,431	1,870	1,332	0,789	0,634	1,109	1,859	1,320	1,274
1.997	1,817	1,058	1,081	1,369	1,277	0,942	0,426	0,356	0,540	0,282	0,671	0,519	0,862
1.998	0,894	0,665	0,484	0,943	1,388	1,299	0,856	0,683	1,400	1,709	1,804	1,941	1,172
1.999	1,660	3,049	2,592	2,693	2,743	2,702	1,923	1,532	1,922	2,432	3,401	2,696	2,445
2.000	2,144	1,595	1,559	1,732	3,150	1,887	1,117	0,824	0,902	1,542	2,618	2,199	1,772
Promedio	0,929	0,798	0,842	0,979	1,220	1,090	0,781	0,646	0,732	1,114	1,388	1,191	0,976

FUENTE: Elaboración propia.

Cuadro 10. Caudales, tiempo de operación y capacidad máxima de las Plantas de Tratamiento de Acuavalle S.A. E.S.P. de los Municipios que conforman el Proyecto SARA-BRUT

Planta de Tratamiento	Tiempo de Operación	Caudal mínimo promedio (l/s)	Caudal máximo promedio (l/s)	Caudal promedio (l/s)	Capacidad (l/s)
Bolívar	17 Horas	15	26	20	25
La Unión	24 Horas	36	70	65	100
Obando	24 Horas	14	40	30	40
Roldanillo	22 Horas	35	90	73	100
La Victoria	16 Horas	35	60	40	100
Toro	24 Horas	23	62	42	40
Zarzal	16 Horas	66	105	70	150
Ricaurte			4	2	
TOTAL		224	457	342	555

FUENTE: ACUAVALLE S.A. E.S.P.

Cuadro 11. Descripción y resultados de los escenarios definidos para el análisis de sensibilidad del modelo de simulación

	ESCENARIO DE SIMULACIÓN							
	1	2	3	4	5	6	7	8
CONDICIONES DE FRONTERA								
Nivel del Embalse para iniciar la simulación (msnm)	1.408,00	1.392,50	1.400,00	1.395,50	1.408,00	1.392,50	1.400,00	1.395,50
Años simulados	26	26	26	26	26	26	26	26
Consumo per cápita (l/hab/día)	200	200	200	200	200	200	200	200
Población (Habitantes)	Creciente	Creciente	Creciente	Creciente	Creciente	Creciente	Creciente	Creciente
Tipo de Consumo	Medio Diario	Medio Diario	Medio Diario	Medio Diario	Máximo Diario	Máximo Diario	Máximo Diario	Máximo Diario
Caudal promedio multianual afluente (m ³ /s)	0,976	0,976	0,976	0,976	0,976	0,976	0,976	0,976
Consumo acueductos (m ³ /s)	0,354-0,487	0,354-0,487	0,354-0,487	0,354-0,487	0,443-0,608	0,443-0,608	0,443-0,608	0,443-0,608
Caudal ecológico (m ³ /s)	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200
Caudal promedio multianual efluente (m ³ /s)	0,825	0,821	0,824	0,823	0,873	0,869	0,872	0,871
Caudal máximo efluente (m ³ /s)	0,962	0,962	0,962	0,962	1,083	1,083	1,083	1,083
Caudal máximo de déficit (m ³ /s)	0,803	0,803	0,803	0,803	0,929	0,929	0,929	0,929
Total días con déficit	1.414	1.473	1.414	1.415	3.016	3077	3.016	3.017
% de Fallas Total	14,89%	15,51%	14,89%	14,90%	31,76%	32,40%	31,76%	31,77%
Demanda acueductos	1,49%	1,49%	1,49%	1,48%	7,49%	7,38%	7,49%	7,49%
Demanda ecológica	2,97%	2,92%	2,97%	2,97%	12,53%	12,32%	12,53%	12,53%
Otras demandas	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
Total días con vertimientos	1.449	1.254	1.281	1.260	893	753	777	758
% de Vertimientos	15,26%	13,21%	13,49%	13,27%	9,40%	7,93%	8,18%	7,98%

FUENTE: Elaboración propia.

Cuadro 11. Descripción y resultados de los escenarios definidos para el análisis de sensibilidad del modelo de simulación (continuación)

	ESCENARIO DE SIMULACIÓN				
	9	10	11	12	13
CONDICIONES DE FRONTERA					
Nivel del Embalse para iniciar la simulación (msnm)	1.395,50	1.395,50	1.395,50	1.408,00	1.408,00
Años simulados	26	26	26	26	26
Consumo per cápita (l/hab/día)	200	200	200	180	180
Población (Habitantes)	Constante (Proyectada al 2.005)	Constante (Proyectada al 2.015)	Constante (Proyectada al 2.025)	Creciente	Creciente
Tipo de Consumo	Medio Diario	Medio Diario	Medio Diario	Medio Diario	Máximo Diario
Caudal promedio multianual afluente (m ³ /s)	0,976	0,976	0,976	0,976	0,976
Consumo acueductos (m ³ /s)	0,365	0,418	0,471	0,319-0,438	0,398-0,548
Caudal ecológico (m ³ /s)	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200
Caudal promedio multianual efluente (m ³ /s)	0,789	0,818	0,842	0,802	0,850
Caudal máximo efluente (m ³ /s)	0,840	0,893	0,946	0,913	1,023
Caudal máximo de déficit (m ³ /s)	0,180	0,772	0,825	0,180	0,872
Total días con déficit	768	1.565	2.372	756	2.259
% de Fallas Total	8,09%	16,48%	24,98%	7,96%	23,79%
Demanda acueductos	0,00%	0,51%	5,06%	0,00%	3,67%
Demanda ecológica	0,00%	1,02%	8,85%	0,00%	6,91%
Otras demandas	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
Total días con vertimientos	1.518	1.257	1.048	1.651	1.146
% de Vertimientos	15,99%	13,24%	11,04%	17,39%	12,07%

FUENTE: Elaboración propia.

Cuadro 12. Descripción de los escenarios definidos para simular el comportamiento del Embalse

	ESCENARIO DE SIMULACIÓN	
	1	2
Nivel del Embalse para iniciar la simulación (msnm)	1.408,00	1.408,00
Años simulados	26	26
Consumo per cápita (l/hab/día)	200	200
Población (Habitantes)	Creciente - Municipios de Bolívar, Roldanillo, La Unión, Toro, Obando, La Victoria, Zarzal, y Corregimiento de Ricaurte. Considerando que Toro y La Unión se abastecen del Embalse en un 50% del tiempo.	Creciente - Municipios de Bolívar, Roldanillo, La Unión, Toro, Obando, La Victoria, Zarzal, y Corregimiento de Ricaurte
Tipo de Consumo	Medio Diario	Medio Diario
Restricciones de Operación	<p>N : Nivel del Embalse (msnm) Qa : Caudal afluente al Embalse (m³/s) Qe : Caudal efluente del Embalse (m³/s), calculado con la demanda de los acueductos y la capacidad de suministro del sistema de caudal ecológico según el nivel del Embalse. Qe_{ete} : Caudal efluente del Embalse (m³/s), calculado con la demanda de los acueductos y la demanda ecológica. Qe_{ete+er} : Caudal efluente del Embalse (m³/s), calculado con la demanda de los acueductos y la demanda ecológica incrementada en 0,100 m³/s V : Volumen de agua almacenado en el Embalse (m³)</p>	<p>N : Nivel del Embalse (msnm) Qa : Caudal afluente al Embalse (m³/s) Qe : Caudal efluente del Embalse (m³/s), calculado con la demanda de los acueductos y la capacidad de suministro del sistema de caudal ecológico según el nivel del Embalse. Qe_{ete} : Caudal efluente del Embalse (m³/s), calculado con la demanda de los acueductos y la demanda ecológica. Qe_{ete+er} : Caudal efluente del Embalse (m³/s), calculado con la demanda de los acueductos y la demanda ecológica incrementada en 0,100 m³/s V : Volumen de agua almacenado en el Embalse (m³)</p>

FUENTE: Elaboración propia.

Cuadro 12. Descripción de los escenarios definidos para simular el comportamiento del Embalse (continuación)

	ESCENARIO DE SIMULACIÓN	
	3	4
Nivel del Embalse para iniciar la simulación (msnm)	1.392,50	1.392,50
Años simulados	26	26
Consumo per cápita (l/hab/día)	200	200
Población (Habitantes)	Creciente - Municipios de Bolívar, Roldanillo, La Unión, Toro, Obando, La Victoria, Zarzal, y Corregimiento de Ricaurte	Creciente - Municipios de Bolívar, Roldanillo, La Unión, Toro, Obando, La Victoria, Zarzal, y Corregimiento de Ricaurte
Tipo de Consumo	Medio Diario	Medio Diario
Restricciones de Operación	<p>DESCARGA DEL EMBALSE</p> <p>N : Nivel del Embalse (msnm) Qa : Caudal afluente al Embalse (m³/s) Qe : Caudal efluente del Embalse (m³/s), calculado con la demanda de los acueductos y la capacidad de suministro del sistema de caudal ecológico según el nivel del Embalse. Qe_{ete} : Caudal efluente del Embalse (m³/s), calculado con la demanda de los acueductos y la demanda ecológica. Qe_{ete+er} : Caudal efluente del Embalse (m³/s), calculado con la demanda de los acueductos y la demanda ecológica incrementada en 0,100 m³/s V : Volumen de agua almacenado en el Embalse (m³)</p>	<p>DESCARGA DEL EMBALSE</p> <p>N : Nivel del Embalse (msnm) Qa : Caudal afluente al Embalse (m³/s) Qe : Caudal efluente del Embalse (m³/s), calculado con la demanda de los acueductos y la capacidad de suministro del sistema de caudal ecológico según el nivel del Embalse. Qe_{ete} : Caudal efluente del Embalse (m³/s), calculado con la demanda de los acueductos y la demanda ecológica. Qe_{ete+er} : Caudal efluente del Embalse (m³/s), calculado con la demanda de los acueductos y la demanda ecológica incrementada en 0,100 m³/s V : Volumen de agua almacenado en el Embalse (m³)</p>

FUENTE: Elaboración propia.

Cuadro 12. Descripción de los escenarios definidos para simular el comportamiento del Embalse (continuación)

	ESCENARIO DE SIMULACIÓN	
	5	6
Nivel del Embalse para iniciar la simulación (msnm)	1.408,00	1.408,00
Años simulados	26	26
Consumo per cápita (l/hab/día)	200	200
Población (Habitantes)	Creciente - Municipios de Bolívar, Roldanillo, La Unión, Toro, Obando, La Victoria, Zarzal, y Corregimiento de Ricaurte	Creciente - Municipios de Bolívar, Roldanillo, La Unión, Toro, Obando, La Victoria, Zarzal, y Corregimiento de Ricaurte
Tipo de Consumo	Medio Diario	Medio Diario
Restricciones de Operación	<p>DESCARGA DEL EMBALSE</p> <p>N : Nivel del Embalse (msnm) M : Mes de verano. 1: Enero, 2: Febrero, 3: Marzo, 7: Julio, 8: Agosto, 9: Septiembre Qa : Caudal afluente al Embalse (m³/s) Qe : Caudal efluente del Embalse (m³/s), calculado con la demanda de los acueductos y la capacidad de suministro del sistema de caudal ecológico según el nivel del Embalse. Qe_{+v} : Caudal efluente del Embalse (m³/s), calculado con la demanda de los acueductos y la demanda ecológica. Qe_{+v} : Caudal efluente del Embalse (m³/s), calculado con la demanda de los acueductos y la demanda ecológica incrementada en 0,100 m³/s V : Volumen de agua almacenado en el Embalse (m³)</p>	<p>DESCARGA DEL EMBALSE</p> <p>N : Nivel del Embalse (msnm) Qa : Caudal afluente al Embalse (m³/s) Qe_{+v} : Caudal efluente del Embalse (m³/s), calculado con la demanda de los acueductos y la demanda ecológica incrementada en 0,100 m³/s. Qe_{+v} : Caudal efluente del Embalse (m³/s), calculado con la demanda de los acueductos y la demanda ecológica. V : Volumen de agua almacenado en el Embalse (m³)</p>

FUENTE: Elaboración propia.

Cuadro 13. Resultados de los escenarios definidos para simular el comportamiento del Embalse

	ESCENARIO DE SIMULACIÓN						
	1	2	3	4	5	6	7
Caudal promedio multianual afluente (m ³ /s)	0,976	0,976	0,976	0,976	0,976	0,976	0,976
Consumo acueductos (m ³ /s)	0,297-0,409	0,354-0,487	0,354-0,487	0,354-0,487	0,354-0,487	0,354-0,487	0,354-0,487
Caudal ecológico (m ³ /s)	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200
Caudal promedio multianual efluente (m ³ /s)	0,788	0,819	0,818	0,812	0,781	0,720	0,781
Caudal promedio efluente (m ³ /s) - Confiabilidad: 100%	0,515	0,520	0,505	0,505	0,575	0,650	0,650
Caudal promedio efluente (m ³ /s) - Confiabilidad: 95%	0,700	0,650	0,595	0,655	0,650	0,660	0,660
Caudal máximo efluente (m ³ /s)	0,884	0,962	0,962	0,962	0,962	0,787	0,962
Caudal máximo de déficit (m ³ /s)	0,180	0,803	0,814	0,814	0,180	0,100	0,630
Total días con déficit	395	572	1.615	742	666	57	188
% de Fallas Total	4,16%	6,02%	17,01%	7,81%	7,01%	0,60%	1,98%
Demanda acueductos	0,00%	1,05%	1,86%	2,16%	0,00%	0,00%	100,00%
Demanda ecológica	0,00%	2,10%	3,65%	4,18%	0,00%	0,00%	100,00%
Otras demandas	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
Total días con vertimientos	1.768	1.502	1.321	1.375	1.963	2.996	1.976
% de Vertimientos	18,62%	15,82%	13,91%	14,48%	20,67%	31,55%	20,81%
Caudal promedio multianual vertido (m ³ /s)	0,188	0,158	0,141	0,147	0,195	0,257	0,195

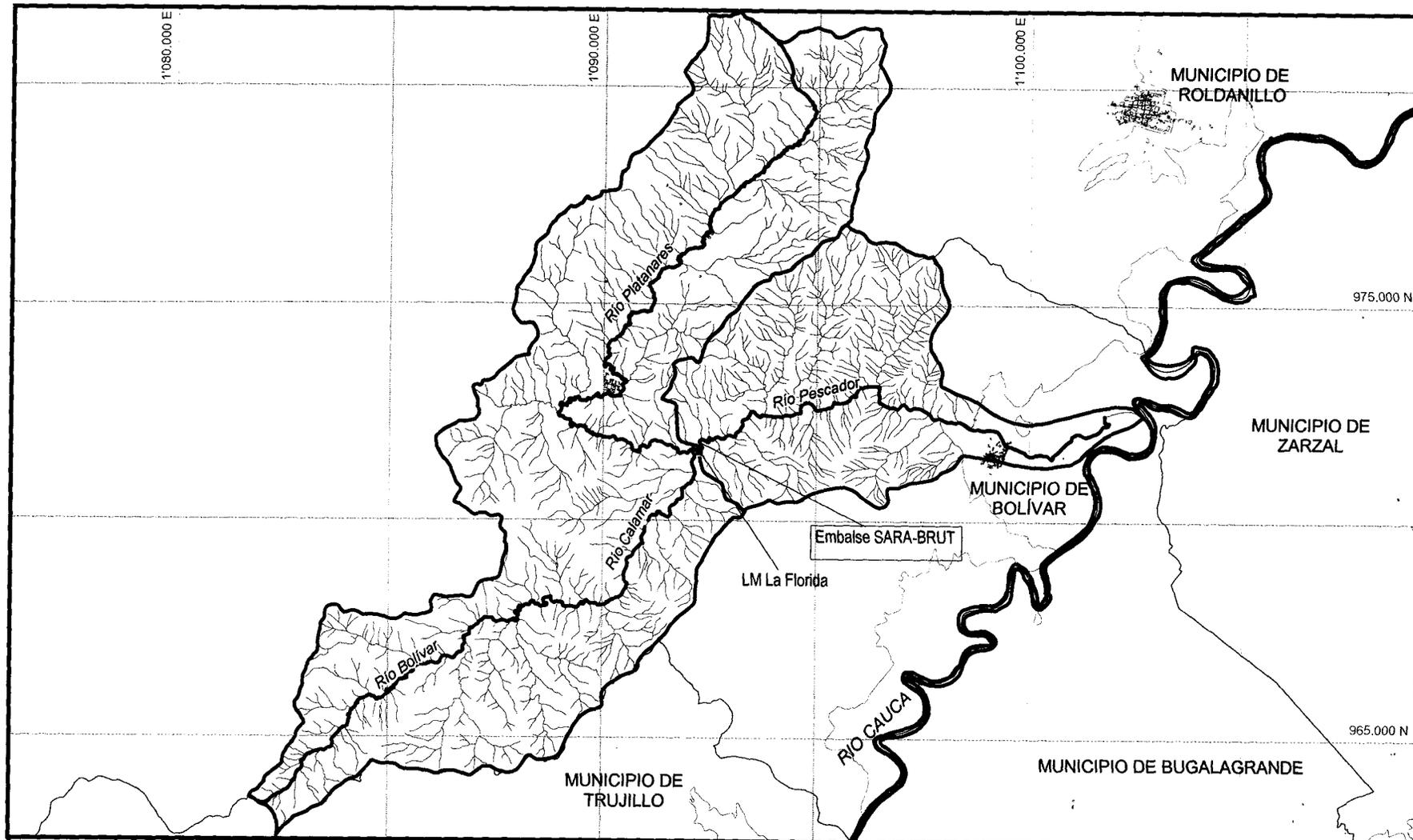
FUENTE: Elaboración propia.

Cuadro 14. Caudal máximo efluente para otros usos aguas abajo del Embalse, según el nivel de operación

Nivel del Embalse (msnm)	Caudal (l/s)
1.395,50	180
1.396,00	184
1.397,00	193
1.398,00	201
1.399,00	209
1.400,00	217
1.401,00	221
1.402,00	232
1.403,00	239
1.404,00	247
1.405,00	254
1.406,00	261
1.407,00	268
1.408,00	275

FUENTE: Elaboración propia.

FIGURAS



CONVENCIONES

- | | |
|---|--|
|  Río, Quebrada |  Población ó Cabecera Municipal |
|  Límite Municipal |  Límite de Cuenca |
|  Línea de Piedemonte |  Estación de aforos |

**SUBDIRECCIÓN DE CONOCIMIENTO
AMBIENTAL TERRITORIAL**
Santiago de Cali



OPERACIÓN DEL EMBALSE SARA-BRUT

APROBÓ: Ing. MARÍA CLEMENCIA SANDOVAL G.	REVISÓ: Ing. MARÍA CLEMENCIA SANDOVAL G.	REALIZÓ: Ing. CLAUDIA YISELLY SOTO CH.
FECHA: SEPTIEMBRE DE 2.003	ESCALA: 1:140.000	FIGURA: 1

Figura 2. Capacidad del Embalse vs. Elevación

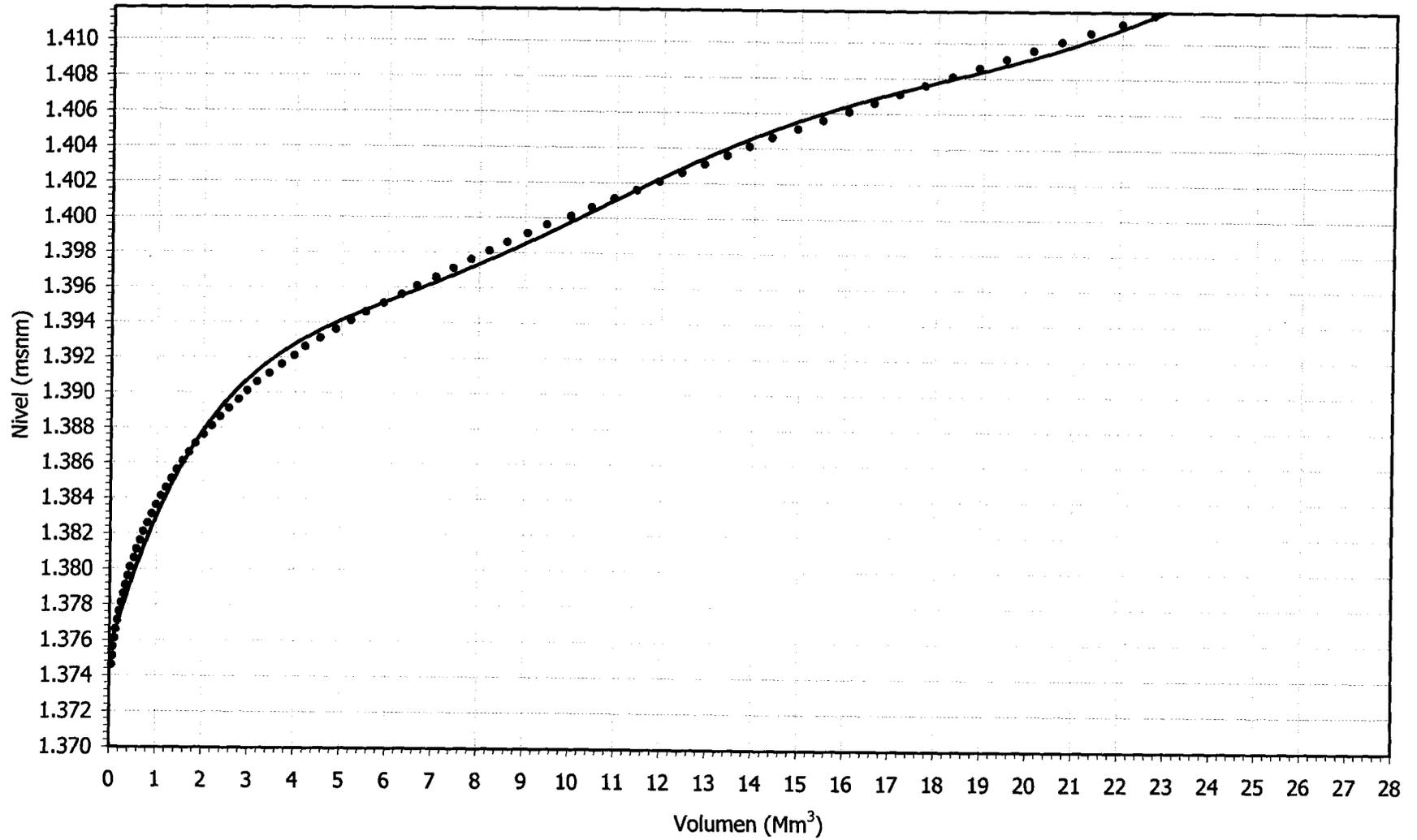


Figura 3. Caudal efluente por el sistema de suministro del caudal ecológico vs. Elevación del Embalse

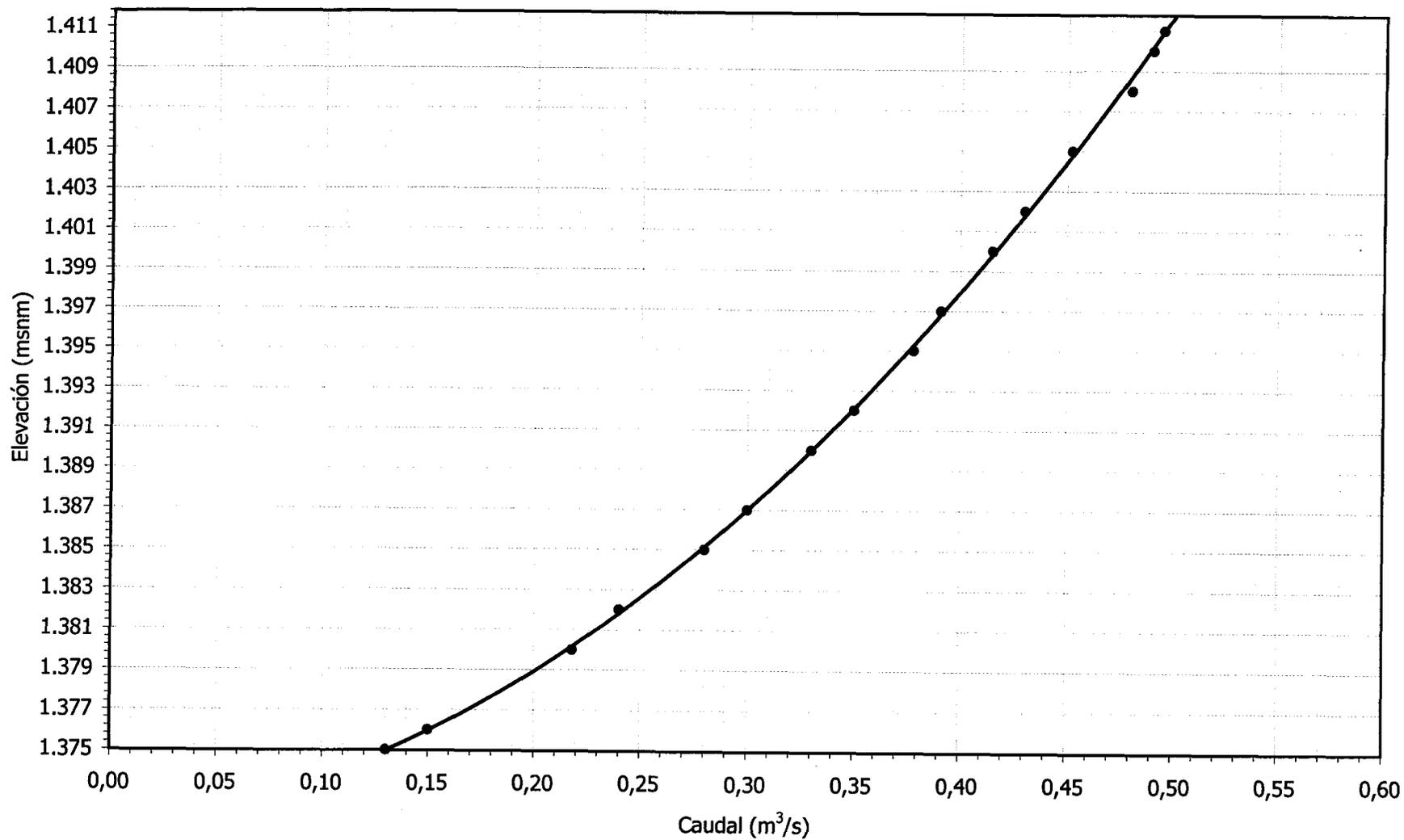


Figura 4. Tiempo en años vs. Número de habitantes por año para los Municipios de Bolívar, Roldanillo, La Unión, Toro, La Victoria, Zarzal, Obando, y el Corregimiento de Ricaurte.

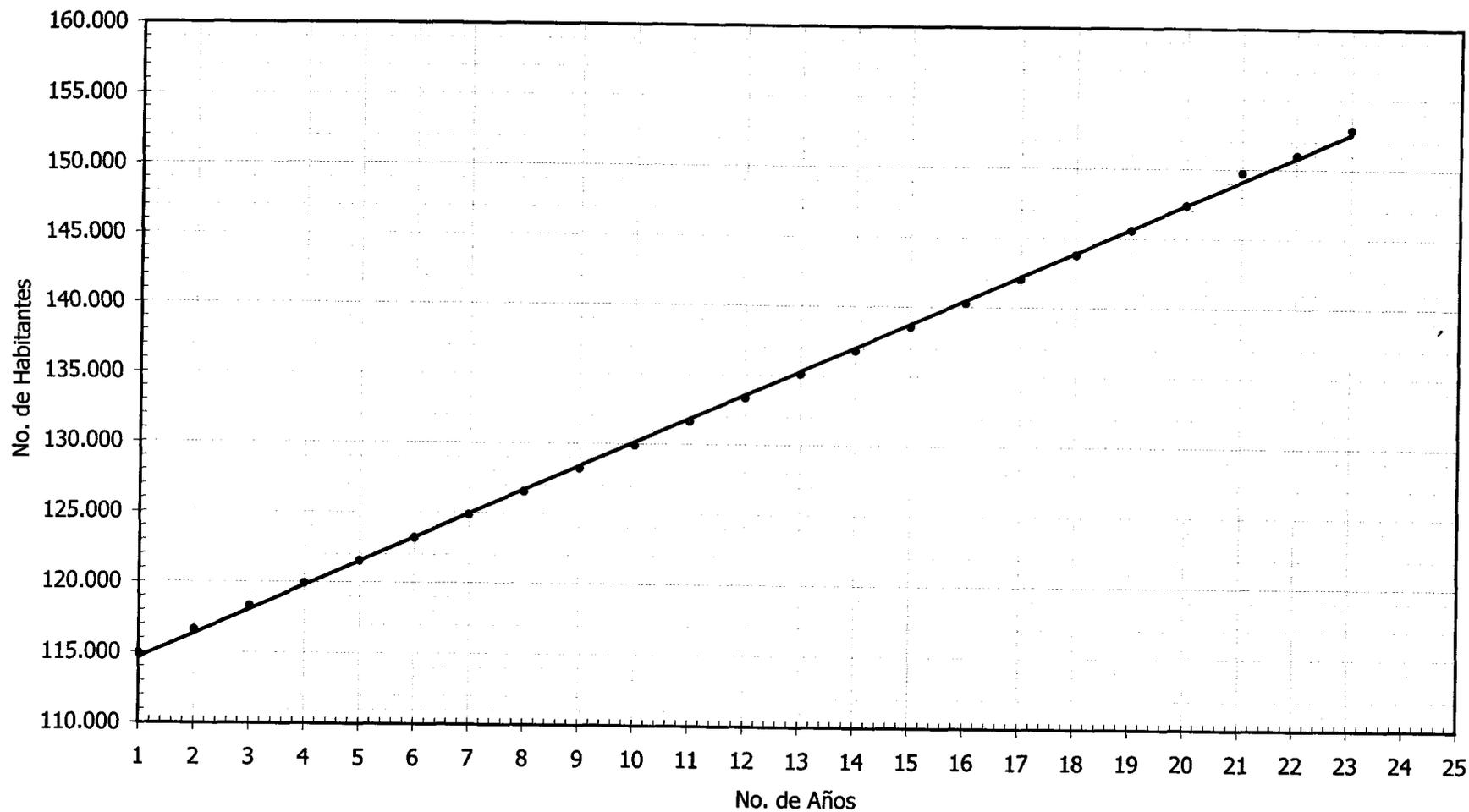


Figura 5. Variación de los caudales medios anuales, Río Pescador en el sitio del Embalse SARA-BRUT

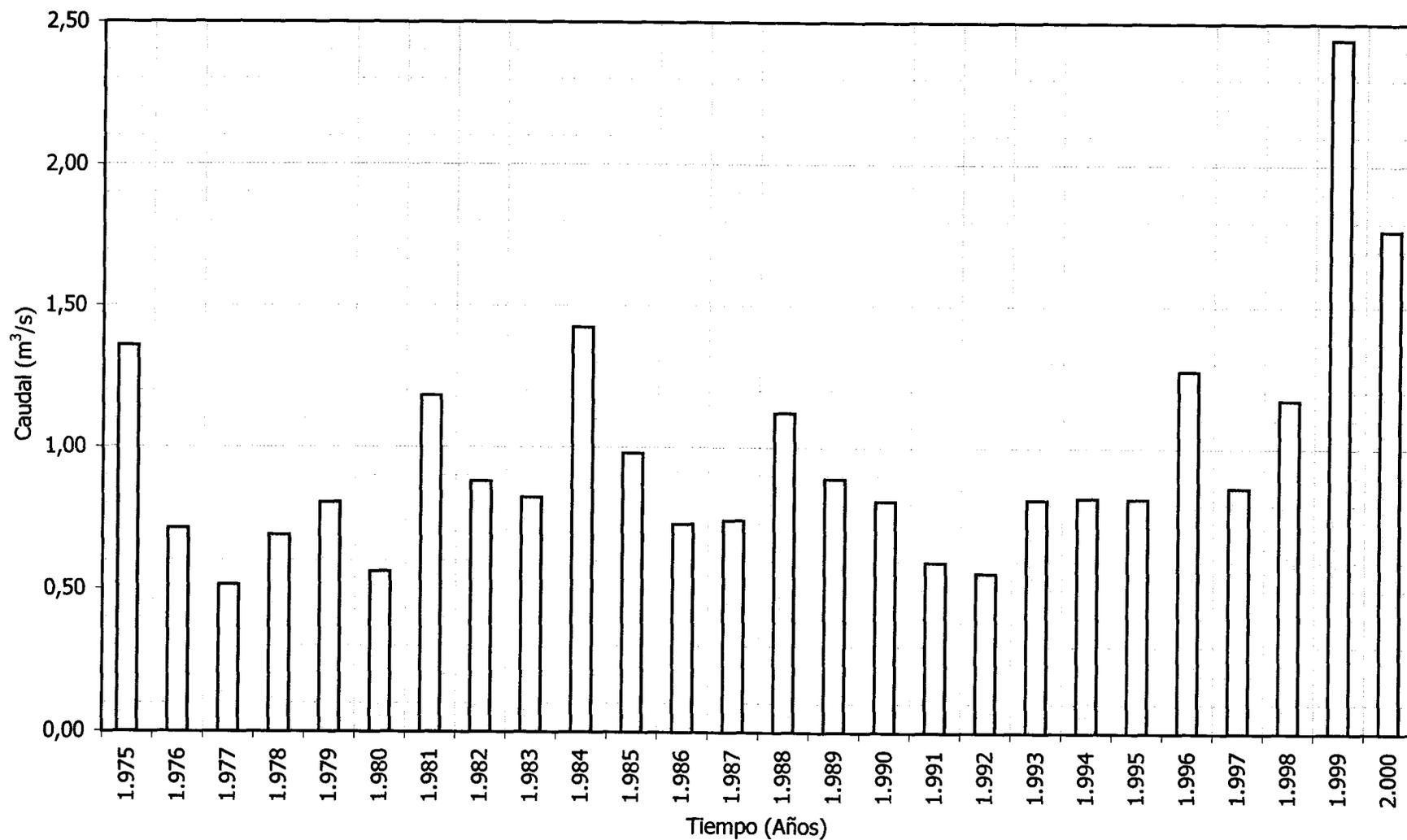


Figura 6. Comportamiento del Embalse SARA-BRUT, bajo las condiciones del Escenario de Simulación 1

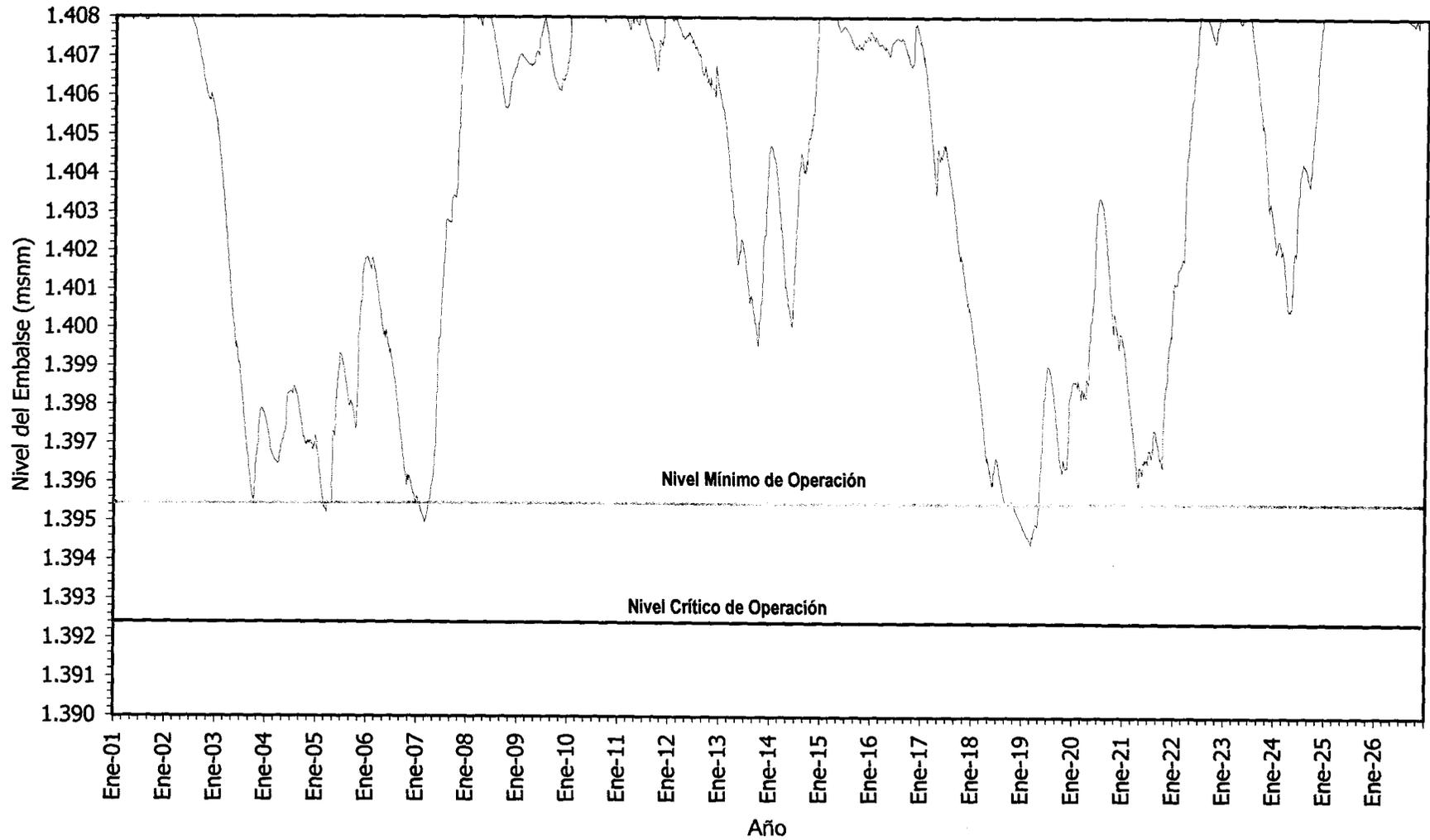


Figura 7. Comportamiento del Embalse SARA-BRUT, bajo las condiciones del Escenario de Simulación 2

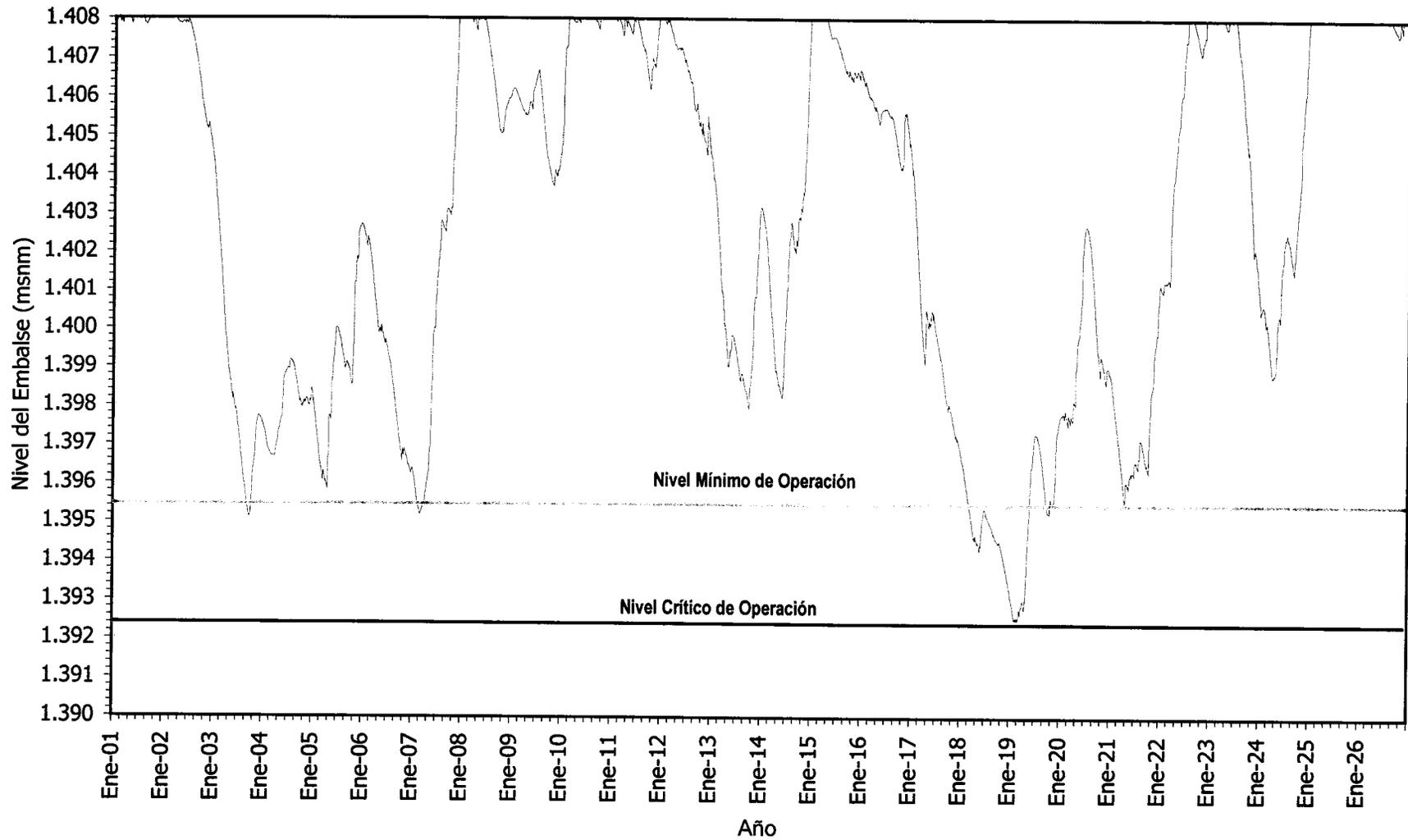


Figura 8. Comportamiento del Embalse SARA-BRUT, bajo las condiciones del Escenario de Simulación 3

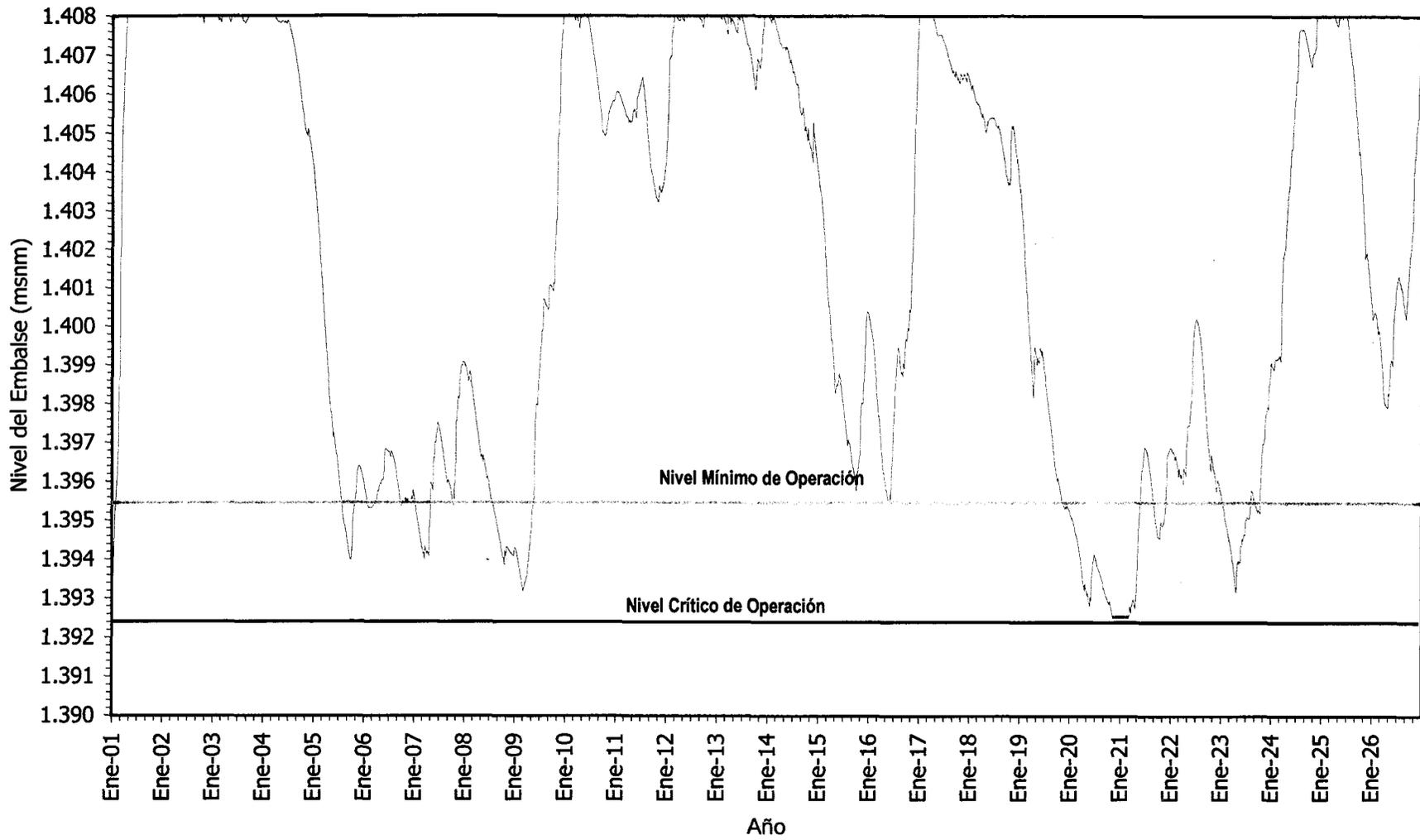


Figura 9. Comportamiento del Embalse SARA-BRUT, bajo las condiciones del Escenario de Simulación 4

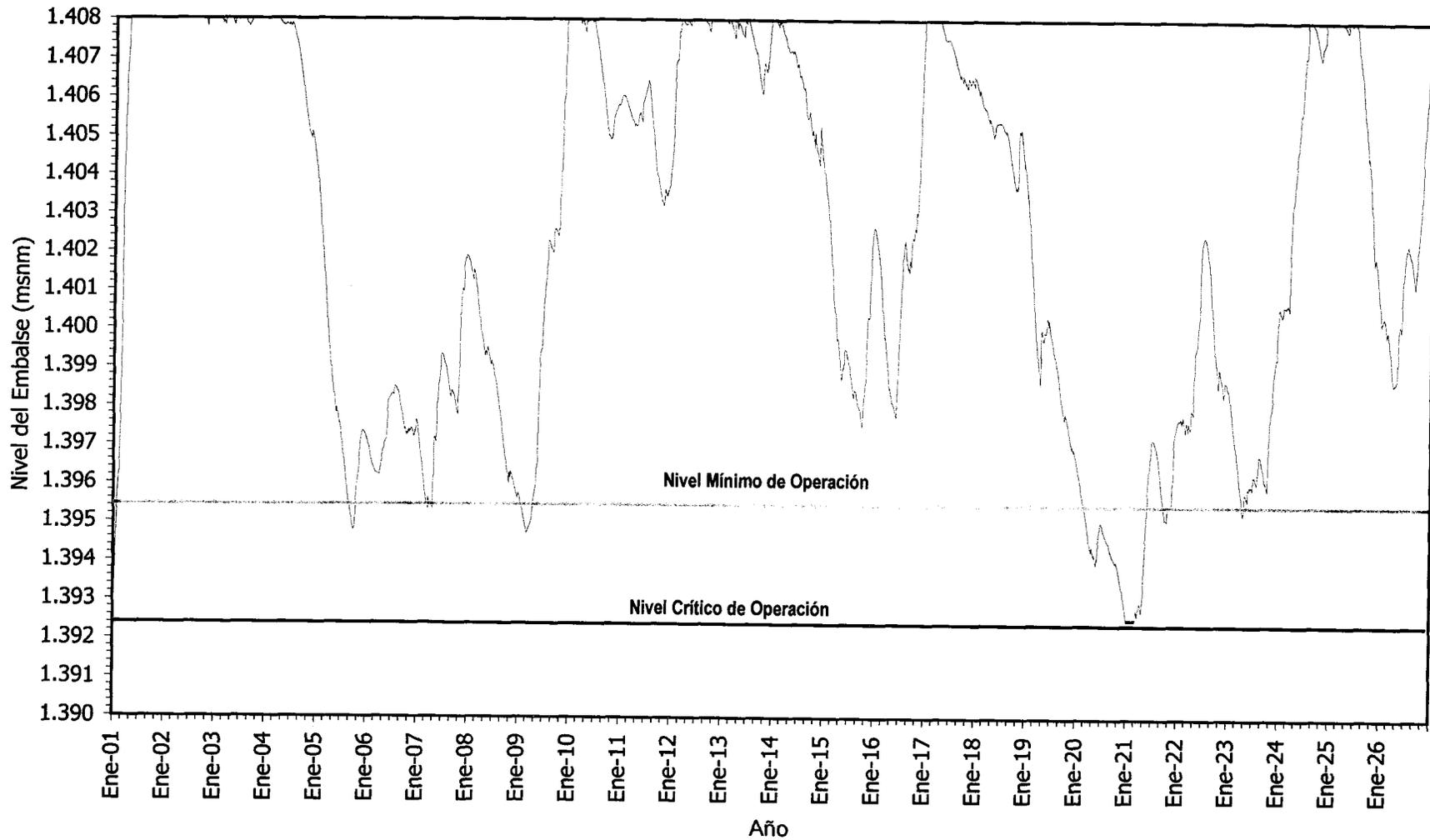


Figura 10. Comportamiento del Embalse SARA-BRUT, bajo las condiciones del Escenario de Simulación 5

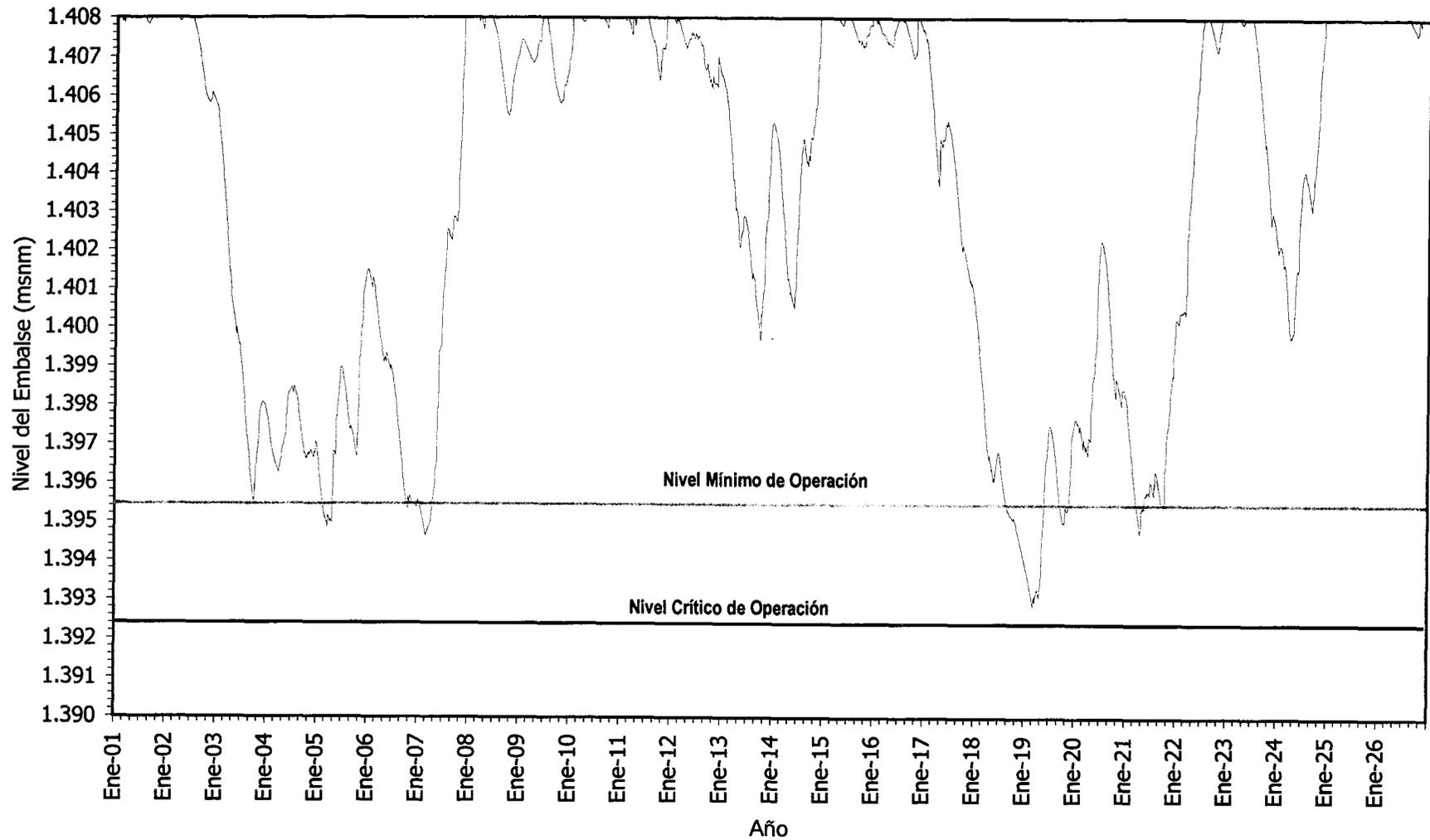


Figura 11. Comportamiento del Embalse SARA-BRUT, bajo las condiciones del Escenario de Simulación 6

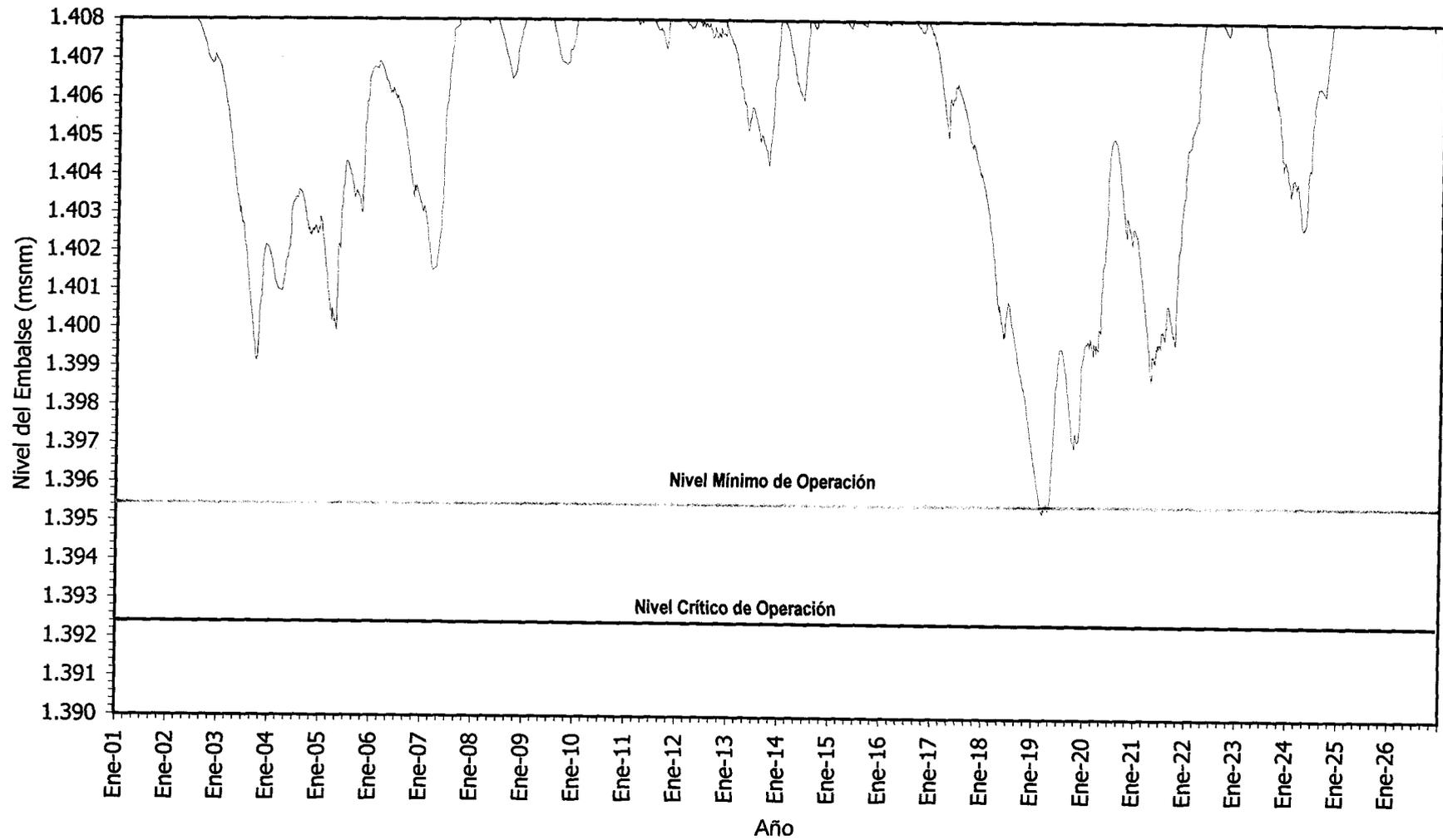


Figura 12. Comportamiento del Embalse SARA-BRUT, bajo las condiciones del Escenario de Simulación 7

