

SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA PARA EL ASEGURAMIENTO DE AGUA POTABLE AL SISTEMA METROPOLITANO

INFORME DE AVANCE

AGOSTO 2013

1

ÍNDICE

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	5
I.1 Antecedentes.....	5
I.2. Objetivo	6
I.3. Alcance.....	6
 CAPÍTULO II. POBLACIÓN Y DEMANDA. PROYECCIONES	 7
II.1 Antecedentes de las proyecciones de demanda obtenidos en el PDAPM.....	7
II.2 Proyecciones de demanda de agua potable al año 2045.....	9
II.3 Proyecciones al año 2045.....	15
II.3.1 Proyección en escenario de máxima demanda.....	15
II.3.2 Proyección en escenario manteniendo volumen total de pérdidas	16
II.3.3 Proyección en escenario con agua facturada más asentamientos igual al 70% del agua elevada	17
II.4 Distribución de consumos y fugas 2012-2045.....	19
 CAPÍTULO III. ESTUDIO DE LA CANTIDAD DEL RECURSO NATURAL	 22
III.1 Nuevas referencia de periodos secos que condicionan el diseño hidrológico	22
III.2 Evaluación de los recursos hídricos en sus valores medios históricos	26
III.3 Distribución de las aportaciones naturales en periodos secos	30
III.4 Sistemas de explotación de los recursos hídricos	34
III.5 Regulación de Santa Lucía Chico por el embalse de Paso Severino	35
III.7 Resultados del comportamiento del Sistema en su configuración actual, con la utilización del bombeo del remanso del río Santa Lucía aguas abajo de la Usina de Aguas Corrientes	47

III.8 Resumen de resultados de operación de los sistemas	50
III.9 Concepto de déficit de recursos en un sistema de abastecimiento urbano	52
III.10 Concepto de nivel de garantía y fiabilidad de un sistema de abastecimiento urbano	56
III.11 Riesgo de fallo estructural por causas externas en las fuentes de un sistema de abastecimiento.....	60
III.12 Establecimiento del nivel de garantía en el sistema de abastecimiento al Sistema Metropolitano	63
III.13 Aplicación al sistema Paso Severino-Aguas Corrientes	64
III.13.1 Aportaciones.....	64
III.13.2 Detracciones.....	64
III.13.4 Metodología con reservas actuales.....	65
III.13.5 Tablas de resultados.....	65
III.13.6 Niveles de garantía	65
III.13.7 Conclusiones a los niveles de garantía obtenidos.....	77
III.14 Requisitos exigibles a los sistemas de abastecimiento	78
III.15 Análisis de riesgos en sistemas de abastecimiento.....	79
III.16 Riesgos en el sistema de abastecimiento de agua al Sistema Metropolitano.....	97
III.17. Matriz de criticidad	97
III.18. Conclusiones del diagnóstico de la cantidad de agua en la cuenca del río Santa Lucía y su potencialidad para satisfacer el abastecimiento de agua potable al Sistema Metropolitano	97
III.20. Información anexa.	101

CAPITULO IV. DIAGNÓSTICO DE CALIDAD DE AGUA BRUTA Y TRATADA EN LA PLANTA POTABILIZADORA DE AGUAS CORRIENTES

IV.1 Características principales de la Cuenca del río Santa Lucía	103
---	-----

IV.1.1 Topografía	103
IV.1.2 Hidrología y clima	103
IV.1.3 Geología.....	105
IV.1.4 Hidrogeología	105
IV.2 La calidad del agua del río Santa Lucía y su aptitud como fuente de agua de consumo humano	106
IV.2.1 Información procesada sobre calidad del agua bruta.....	107
IV. 3 Análisis de información.....	111
IV.3.1 Análisis del estado trófico	111
IV.3.2 Condiciones complementarias de aptitud como fuente de agua de consumo .	119
IV.3.3 Análisis del contenido orgánico y de factores propiciatorios de formación de compuestos tóxicos y/o generadores de olor y sabor.....	128
IV.4 Estudio de correlación entre calidad del agua bruta, sus causas naturales y antropogénicas y la evolución esperada	136
IV.5 Conclusiones sobre el estado actual y proyección esperada de la calidad del agua en la Cuenca del Río Santa Lucía en el período de previsión del Proyecto.....	141
IV.6 Calidad del agua tratada en la Usina de Aguas Corrientes.....	142
IV.6.1 Procesamiento de información relevada de agua tratada y análisis de aptitud	142
IV.7 Análisis de episodios extraordinarios de calidad y aptitud de las instalaciones de la Planta de Aguas Corrientes para su manejo	146
IV.7.1 Remoción de materia orgánica disuelta en Planta	146
IV.7.2 Remoción de compuestos formadores de olor y sabor	147
IV.8 Conclusiones.....	148

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

I.1 Antecedentes

El Sistema Metropolitano abastece aproximadamente a 1:750.000 habitantes de las ciudades de Montevideo, Canelones, Ciudad de la Costa, La Paz, Las Piedras, Progreso y villas aledañas. El agua bruta para este sistema proviene del río Santa Lucía, siendo la planta potabilizadora de Aguas Corrientes el único centro de producción. La seguridad del abastecimiento de la población del Sistema Metropolitano depende por lo tanto, del buen funcionamiento de la Usina, y de la cantidad y calidad del agua del río Santa Lucía en Aguas Corrientes, como única fuente de agua bruta.

Si bien la configuración propia de la Usina refleja dos plantas potabilizadoras en una (cuenta con dos líneas de tratamiento diferentes: Planta nueva y Planta vieja), la situación planteada en el párrafo inicial, torna vulnerable al sistema de abastecimiento. Vista esta problemática, la Administración ha desarrollado estudios tendientes a analizar alternativas con la finalidad de contar con elementos para la toma de decisión en cuanto a obras a ejecutar que aseguren el abastecimiento al Sistema. Se efectuaron varios estudios, como por ejemplo: “Plan Director de Abastecimiento de Agua Potable a Montevideo”, Consorcio Sogreah-Safege-CSI, 2000; “Transferencia de agua del Río de la Plata a Montevideo y reforzamiento institucional de OSE”, Sogreah, 2003; “Estudios básicos para el recrecimiento del embalse de Paso Severino”, IMFIA-UDELAR, 2010.

Considerando la información disponible de estudios previos, el Directorio de OSE junto con la Gerencia General, toman la decisión estratégica de encomendar a Aguasur la elaboración de un proyecto que estudie y proponga la alternativa más conveniente para el aseguramiento del abastecimiento de agua potable al Sistema Metropolitano hasta el año 2045.

A efectos de elaborar el presente Proyecto, se constituyó un Grupo de Trabajo integrado por personal de OSE y contratado, designándose además los integrantes de un Comité de Alta Dirección, que ofician de nexo entre la Administración y el Grupo de Trabajo.

I.2. Objetivo

El objetivo del proyecto “Selección de la alternativa para el aseguramiento del abastecimiento de agua potable al Sistema Metropolitano” consiste en el estudio de las diferentes alternativas que se establezcan para asegurar el abastecimiento de agua potable hasta el año 2045 en el Sistema Metropolitano, y la posterior selección de aquella más conveniente; basándose en metodologías que contemplen el análisis técnico-económico y las posibles situaciones de riesgo para los componentes del Sistema.

I.3. Alcance

El alcance incluye analizar la información disponible y las alternativas estudiadas hasta el momento con respecto a las posibilidades de abastecimiento de agua potable para el Sistema Metropolitano, actualizando la información anterior en lo que resulte necesario. Se plantearán y analizarán todas las alternativas viables para cumplir con el objetivo del trabajo, hayan o no sido estudiadas hasta el momento.

Luego de efectuar la evaluación según valoración multicriterio de las alternativas planteadas, se **seleccionará la más conveniente**, que tendrá en cuenta el aseguramiento del abastecimiento de agua potable en cantidad y calidad al año 2045, atendiendo a las posibles situaciones de riesgo para los distintos componentes del Sistema, garantizando en forma sostenible la solución.

CAPÍTULO II. POBLACIÓN Y DEMANDA. PROYECCIONES

El presente capítulo tiene como propósito un doble objetivo:

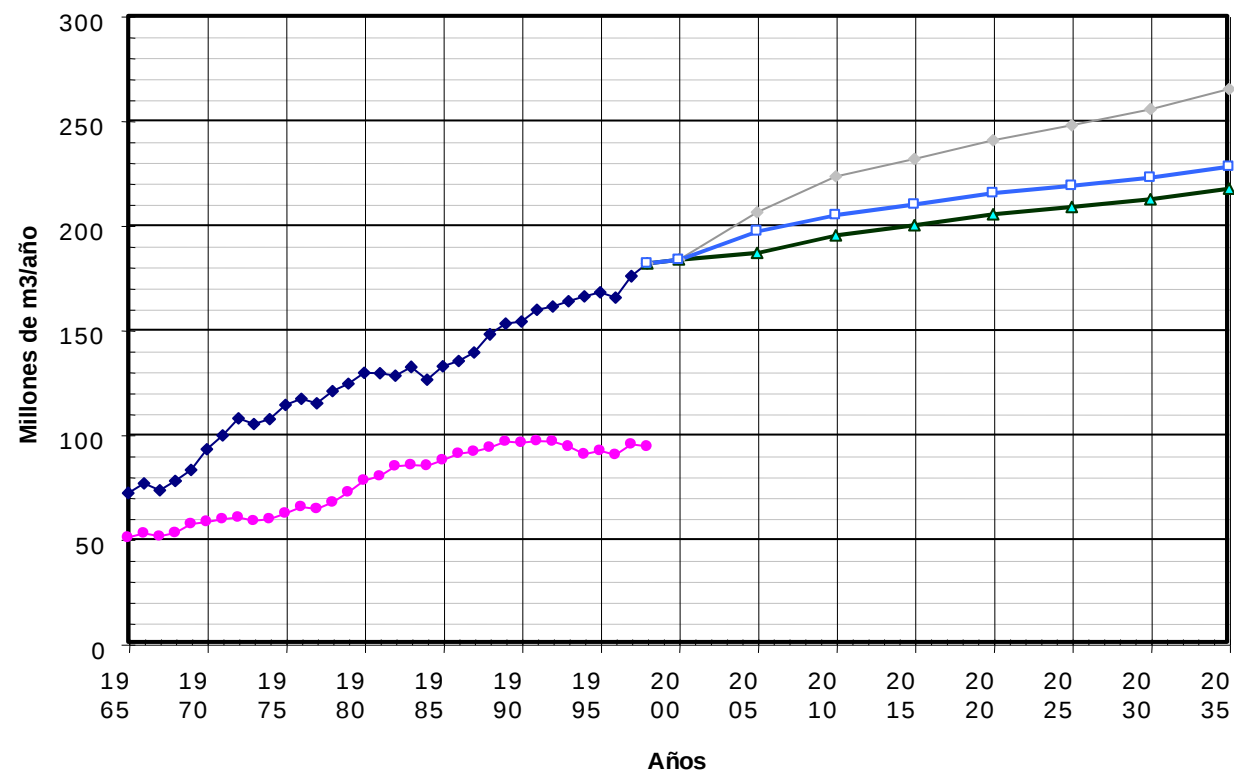
1. Determinar y acotar los límites de la población a suministrar agua potable del Sistema Metropolitano.
2. Fijar la demanda de agua al año horizonte 2045, diez años más que el considerado en el Plan Director de Agua Potable (PDAPM), elaborado por el Consorcio SOGREAH, SAFEGE y CSI en mayo de 1999.

II.1 Antecedentes de las proyecciones de demanda obtenidos en el PDAPM

Del PDAPM (FASE A, Capítulo 3. “Prospectiva del Desarrollo Futuro”, TEXTO PRINCIPAL, Apartado 3.2.1), se reproducen las tres hipótesis que definían la demanda en el año 2000.

- La hipótesis 0 representa la evolución de la demanda si no se emprende ninguna acción de reducción de las pérdidas. Se hizo la hipótesis que estas pérdidas seguían aumentando un 1% cada 5 años y que el consumo per cápita (cpc) se mantenía constante.
- La hipótesis 1 (baja) representa la evolución de la demanda suponiendo una reducción de las pérdidas de un 5% entre los años 2000 y 2005, y una baja del cpc del 5% entre los años 2000 y 2010.
- La hipótesis 2 (alta) representa la evolución de la demanda suponiendo una reducción de las pérdidas del 5% entre los años 2000 y 2010, y un cpc constante.

Se reproduce la figura 3.2.1-10 del PDAPM “Sistema Metropolitano + expansiones. Histórico de los volúmenes producidos y facturados. Proyección de la demanda”, en la que se aprecia la comparación de las distintas hipótesis.



◆ Histórico Producción
● Histórico Facturación
◆ Demanda Hipótesis 0
▲ Demanda Hipótesis 1
□ Demanda Hipótesis 2

Una empresa de



Manantial Dorado S.A. | Soriano 1596 Piso 3 | Montevideo / Uruguay / CP 11200
Tel./Fax: (598) 2410 9546/47 | aguasur@aguasur.com.uy | www.aguasur.com.uy

Los datos reales correspondientes al año 2012 se indican en la Tabla II.1:

Conceptos	Datos de 2012	%
Volúmenes consumidos, medidos y facturados	108.315.788	49,06%
Volúmenes consumidos, autorizados, estimados	51.512.851	23,33%
Volúmenes utilizados fraudulentamente o fugados en el proceso de almacenamiento y distribución	60.942.961	27,60%
Total bombeado de Usina AA.CC	220.771.600	100,00%

Tabla II.1. Datos RANC del año 2012

Se compararon las proyecciones de agua elevada al Sistema proyectadas en el PDAPM para diferentes hipótesis de crecimiento, con la información real correspondiente, comprobando que los valores reales medidos al año 2012 son ligeramente menores a los indicados para las hipótesis de máxima demanda, a pesar del crecimiento muy limitado de la población.

II.2 Proyecciones de demanda de agua potable al año 2045

Se parte de los datos de población del Censo 2011 para el Área Metropolitana abastecida de agua potable por OSE, incluyendo al departamento de Montevideo y parte del de Canelones.

Montevideo	1.304.687
Canelones Metropolitano	409.486
Total Área Metropolitana	1.714.173

Tabla II.2. Población al año 2011 en número de habitantes

A continuación se listan en orden alfabético los municipios considerados en el presente estudio para conformar el Área Metropolitana:

1	AEROPUERTO INTERNACIONAL DE CARRASCO
2	AGUAS CORRIENTES
3	ALTOS DE LA TAHONA
4	BARRA DE CARRASCO
5	BARRIO COPOLA
6	BARRIO REMANSO
7	BARROS BLANCOS
8	CAMPO MILITAR
9	CANELONES
10	CERRILLOS
11	COLINAS DE CARRASCO
12	COLINAS DE CARRASCO
13	COLINAS DE SOLYMAR
14	COLONIA NICOLICH
15	COSTA Y GUILLAMON
16	CRUZ DE LOS CAMINOS
17	CUMBRES DE CARRASCO
18	EL BOSQUE
19	EL PINAR
20	EMPALME OLMOS
21	ESTANQUE DE PANDO
22	FORTIN DE SANTA ROSA
23	FRACC. CNO. ANDALUZ Y R.84
24	FRACC. PROGRESO
25	FRACC. SOBRE RUTA 74
26	HARAS DEL LAGO
27	INSTITUTO ADVENTISTA
28	JARDINES DE PANDO
29	JOAQUIN SUAREZ
30	JUANICO
31	LA ASUNCION
32	LA LUCHA
33	LA PAZ
34	LAGOMAR
35	LAS PIEDRAS
36	LOMAS DE CARRASCO
37	LOMAS DE SOLYMAR

38	MARINDIA
39	MONTEVIDEO
40	NEPTUNIA
41	OLMOS
42	PANDO
43	PARADA CABRERA
44	PARQUE CARRASCO
45	PASO CARRASCO
46	PASO ESPINOSA
47	PASO PALOMEQUE
48	PIEDRA DEL TORO
49	PINAMAR - PINEPARK
50	PROGRESO
51	SALINAS
52	SAN JOSE DE CARRASCO
53	SAUCE
54	SEIS HERMANOS
55	SHANGRILA
56	SOLYMAR
57	TOLEDO
58	TOTAL DEL SAUCE
59	VIEJO MOLINO SAN BERNARDO
60	VILLA AEROPARQUE
61	VILLA CRESPO Y SAN ANDRES
62	VILLA FELICIDAD
63	VILLA PAZ S.A.
64	VILLA PORVENIR
65	VILLA SAN JOSE

Tabla II.3. Municipios del Área Metropolitana

A los efectos de cuantificar la demanda de agua potable al año 2045 se utilizan aquí los escenarios socioeconómicos desarrollados en el año 2009 por la Oficina de Planeamiento y Presupuesto – Presidencia de la República.

Estos escenarios se desarrollaron en el trabajo denominado “*Estrategia Uruguay III Siglo*” para el período 2006-2030, por lo que utilizaremos las tasa de crecimiento de los mismos, suponiendo que se cumplen para el período 2012-2045. En dicho trabajo se desarrollaron 3 escenarios, uno de máxima denominado Normativo Estratégico, uno llamado Dinámico Intermedio y otro de mínima.

Como la economía uruguaya creció al 3,1% anual en el período 1970-2005, medida por el PBI, según estudios de OPP, se optó por el Dinámico Intermedio para estas proyecciones ya que presentaba una tasa de crecimiento del PBI de Uruguay del 3,9% anual similar a aquella. A su vez estos escenarios presentaban una tasa de crecimiento de la población de 0,3% anual para el total país. Esta tasa provenía de las proyecciones de INE hasta el año 2025 y del Centro Latinoamericano y Caribeño de Demografía (CELADE) de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) hasta el año 2030. Para el Área Metropolitana, dichas proyecciones ubicaban la tasa en 0,19% anual acumulativa. Se tomó esta tasa para nuestras proyecciones.

Se desestimaron las tasas de crecimiento entre los censos 2004 y 2011, por problemas en las cifras del 2004 que hacen perder confiabilidad a estas tasas de crecimiento.

En la Tabla II.4 pueden verse las tasas de crecimiento de los escenarios Normativo Estratégico y Dinámico Intermedio.

OPP EUIIS	
Escenarios 2006-2030	
<u>Normativo estratégico</u>	%crec anual prom
Tasa crec PBI país	5,80%
Crec Pobl	0,30%
Tasa crec PBI pc	5,50%
Tasa crec A Metrop PBI	4,60%
Crec Pobl	0,90%
Tasa crec PBI pc	3,70%
<u>Dinámico Intermedio</u>	
Tasa crec PBI país	3,87%
Crec Pobl	0,30%
Tasa crec PBI pc	3,68%
Tasa crec A Metrop PBI	3,07%
Crec Pobl	0,19%
Tasa crec PBI pc	2,88%
Población Metrop al 2045	1.827.435

Tabla II.4. Proyección población del Área Metropolitana al año 2045

Según las proyecciones realizadas, la población del Área Metropolitana al año 2045 sería 1.827.435 habitantes.

En estudio realizado por la Universidad de la República para OSE en los años 2000/2001, se estimaron las elasticidades producto y precio de la demanda de agua para residencias e industrias, según se presenta en la siguiente tabla.

Convenio OSE - Universidad de la República			
Previsión de la demanda de agua potable y saneamiento. Setiembre 2001.			
<u>Agua Potable</u>		<u>Elasticidades</u>	
Elasticidad ingreso de corto plazo para hogares Montevideo:		0,17	
Elasticidad precio de corto plazo para hogares Montevideo:		-0,24	
Elasticidad producto de corto plazo para industrias de Montevideo		0,2518	
Elasticidad precio corto plazo para comercios/industrias Montevideo		-0,3246	
<u>Saneamiento</u>			
Se consideran las mismas elasticidades			

Tabla II.5. Elasticidades para producto y precio estimadas en estudio UDELAR 2000-2001

Por tanto, la metodología utilizada para la proyección de la demanda de agua potable a largo plazo parte del supuesto que la demanda crece, por un lado, en función del ingreso de los hogares (su crecimiento se supone igual al del PBI global) en el caso de las residencias y de los PBI sectoriales en el resto de los casos. En estos casos se tomaron las tasas de crecimiento del escenario dinámico intermedio. Por otro lado, dichas tasas de crecimiento son ajustadas por las elasticidades producto definidas previamente para cada caso, o sea, por ejemplo cada 10% de incremento de la actividad sólo crecería un 1,7% la demanda de agua residencial, ya que los hogares presentan una elasticidad producto de 0,17, según puede verse en el cuadro anterior.

La Tabla II.6 presenta las tasas de crecimiento de la demanda por sector, a partir de los supuestos previos.

Tasas de crecimiento de demanda de agua potable			
Categoría	Crec. anual actividad	Elasticidad producto	Crec. anual demanda
Residencial	3,07%	0,17	0,52%
Comercial	3,02%	0,25	0,76%
Industrial	3,66%	0,25	0,92%
Gobierno	7,84%	0,25	1,97%

Tabla II.6. Tasas de crecimiento por sector. Período 2012-2045

A partir de estos supuestos y de la información manejada, se han estudiado tres escenarios para la demanda:

1. Escenario de máxima demanda (se mantiene el indicador agua facturada / agua elevada)
2. Escenario con pérdidas mantenidas hasta el año horizonte de 2045 (se mantiene el volumen total de pérdidas en todo el horizonte de proyecto)
3. Escenario con agua facturada más asentamientos igual al 70% del agua elevada.

II.3 Proyecciones al año 2045

Se efectuaron las proyecciones al año 2045 para los distintos escenarios.

II.3.1 Proyección en escenario de máxima demanda

Proyección agua elevada anual en miles m³ - Escenario de máx demanda			
Categoría	Año 2012	Tasa crec %anual	Año 2045
Residencial	77.728	0,52%	92.306
Comercial	10.186	0,8%	13.077
Industrial	6.669	0,9%	9.029
Gobierno	6.312	2,0%	12.030
Otros autorizados	6.474	0,7%	8.114
Pérdidas aparentes	52.434	0,7%	65.711
Pérdidas reales	60.967	0,7%	76.404
Totales	220.771	0,7%	276.670
Demanda diaria promedio en m³ - Escenario de máxima demanda			
Categoría	Año 2012		Año 2045
Residencial	212.955		252.892
Comercial	27.907		35.826
Industrial	18.270		24.737
Gobierno	17.293		32.959
Otros autorizados	17.738		22.229
Pérdidas aparentes	143.656		180.029
Pérdidas reales	167.034		209.326
Totales	604.852		757.999
Pico diario	669.999		839.642

Tabla II.7. Proyecciones al 2045 para escenario de máxima demanda

En base a los datos de RANC 2012, se observa que el consumo medio se ubica en casi 605 mil m³ día. Por otra parte, se tomó un consumo pico de 670 mil m³ día.

II.3.2 Proyección en escenario manteniendo volumen total de pérdidas

<u>Proyección agua elevada anual en miles m³ - Escenario con pérdidas reales iguales en m³</u>			
Categoría	Año 2012	Tasa crec %anual	Año 2045
Residencial	77.728	0,52%	92.306
Comercial	10.186	0,76%	13.077
Industrial	6.669	0,92%	9.029
Gobierno	6.312	1,97%	12.030
Otros autorizados	6.474	0,69%	8.114
Pérdidas aparentes	52.434	0,69%	65.711
<i>Agua consumida</i>	<i>159.804</i>	<i>0,69%</i>	<i>200.266</i>
Pérdidas reales	60.967	0,00%	60.967
Totales	220.771	0,51%	261.233
<u>Demanda diaria promedio en m³ - Escenario con pérdidas reales iguales en m³</u>			
Categoría	Año 2012		Año 2045
Residencial	212.955		252.892
Comercial	27.907		35.826
Industrial	18.270		24.737
Gobierno	17.293		32.959
Otros autorizados	17.738		22.229
Pérdidas aparentes	143.656		180.029
<i>Agua consumida</i>	<i>437.819</i>		<i>548.673</i>
Pérdidas reales	167.034		167.034
<u>Totales</u>	<u>604.852</u>	-	<u>715.707</u>
<u>Pico diario</u>	<u>670.000</u>	-	<u>792.794</u>

Tabla II.8. Proyecciones al 2045 para escenario con pérdidas reales iguales en m3

II.3.3 Proyección en escenario con agua facturada más asentamientos igual al 70% del agua elevada

<u>Proyección agua elevada anual en miles m³ - Escenario con agua facturada más asentamientos igual al 70% del agua elevada</u>			
Categoría	Año 2012	Tasa crec %anual	Año 2045
Residencial	77.728	0,98%	107.139
Comercial	10.186	1,17%	14.944
Industrial	6.669	1,33%	10.318
Gobierno	6.312	2,39%	13.748
Otros autorizados	6.474	1,27%	9.829
Pérdidas aparentes	52.434	-1,16%	35.652
<i>Agua consumida</i>	<i>159.804</i>	<i>0,55%</i>	<i>191.632</i>
Pérdidas reales	60.967	-2,01%	31.796
<u>Totales</u>	<u>220.771</u>	<u>0,03%</u>	<u>222.828</u>
<u>Demanda diaria promedio en m³ - Escenario con agua facturada más asentamientos iguales al 70% del agua elevada</u>			
Categoría	Año 2012		Año 2045
Residencial	212.955		293.533
Comercial	27.907		40.943
Industrial	18.270		28.270
Gobierno	17.293		37.667
Otros autorizados	17.738		26.229
Pérdidas aparentes	143.656		97.678
<i>Agua consumida</i>	<i>437.819</i>		<i>525.019</i>
Pérdidas reales	167.034		85.468
<u>Totales</u>	<u>604.852</u>	<u>-</u>	<u>610.487</u>
<u>Pico diario</u>	<u>670.000</u>	<u>-</u>	<u>676.242</u>

Tabla II.9. Proyecciones al 2045 para escenario con porcentaje de agua facturada más asentamientos del 70%

A continuación se resume la comparación de la evolución del indicador I1 para los distintos escenarios, como forma de visualizar la relación entre el agua facturada y el agua elevada en el Sistema.

I1= (Agua facturada/Agua disponible) x 100, donde

Agua disponible = Agua elevada – Agua exportada (baja incidencia en el cálculo)

Escenario	I1
Al año 2012	45,7%
Máxima demanda	45,7%
Vol. total de pérdidas constante	48,4%
Agua facturada + asentamiento =70%	65,6%

Tabla II.10. Cuadro comparativo del indicador I1 en los distintos escenarios

II.4 Distribución de consumos y fugas 2012-2045

De las proyecciones estudiadas se selecciona, del lado de la seguridad, la que prevé los mayores consumos al año horizonte.

Para visualizar los distintos componentes, se ha entendido necesario desglosar la proyección de la demanda entre Montevideo y su Área Metropolitana, aportando datos desde la RANC y comprobando su ajuste con los valores manejados.

a) MONTEVIDEO

Montevideo	2012	2017	2022	2027	2032	2037	2042	2045
Habitantes Montevideo	1.319.108	1.332.020	1.345.057	1.358.223	1.371.517	1.384.942	1.398.498	1.406.695
Consumo residencial (Calculado)	60.665.777	61.867.313	63.086.559	64.323.746	65.579.108	66.852.883	68.145.310	68.929.821
Consumo industrial, comercial y gobierno (RANC)	17.834.223	19.040.078	19.809.025	20.002.918	20.198.708	20.396.415	20.596.057	20.716.779
Facturado (RANC)	78.500.000	80.907.392	82.895.584	84.326.664	85.777.816	87.249.298	88.741.367	89.646.600
No medido (RANC)	37.960.000	38.331.556	38.706.749	39.085.615	39.468.189	39.854.507	40.244.607	40.480.497
Consumido (Calculado)	116.460.000	119.238.948	121.602.334	123.412.279	125.246.005	127.103.805	128.985.975	130.127.098
Pérdidas reales (RANC)	46.897.453	48.493.405	50.156.502	51.890.639	53.700.039	55.589.291	57.563.391	58.790.824
Total suministrado Montevideo	163.357.453	167.732.353	171.758.836	175.302.918	178.946.045	182.693.097	186.549.365	188.917.922

b) ÁREA METROPOLITANA

Área Metropolitana	2012	2017	2022	2027	2032	2037	2042	2045
Habitantes Área Metropolitana	395.065	398.932	402.837	406.780	410.761	414.782	418.842	421.297
Consumo residencial	18.009.011	18.367.298	18.730.873	19.099.806	19.436.684	19.670.883	19.901.643	20.018.295
Consumo industrial, comercial y gobierno	11.806.777	12.824.052	14.486.918	16.957.186	19.684.586	22.699.209	26.035.036	28.206.486
Facturado (calculado)	29.815.788	31.191.350	33.217.791	36.056.992	39.121.270	42.370.092	45.936.679	48.224.780
No medido	13.552.852	14.178.117	15.099.242	16.389.809	17.782.686	19.259.447	20.880.649	21.920.712
Consumido (Calculado)	43.368.640	45.369.467	48.317.033	52.446.801	56.903.956	61.629.538	66.817.328	70.145.492
Pérdidas reales (RANC)	14.045.508	14.523.486	15.021.574	15.540.938	16.082.842	16.648.662	17.239.893	17.607.502
Total suministrado Área Metropolitana	57.414.148	59.892.953	63.338.607	67.987.739	72.986.799	78.278.201	84.057.221	87.752.995

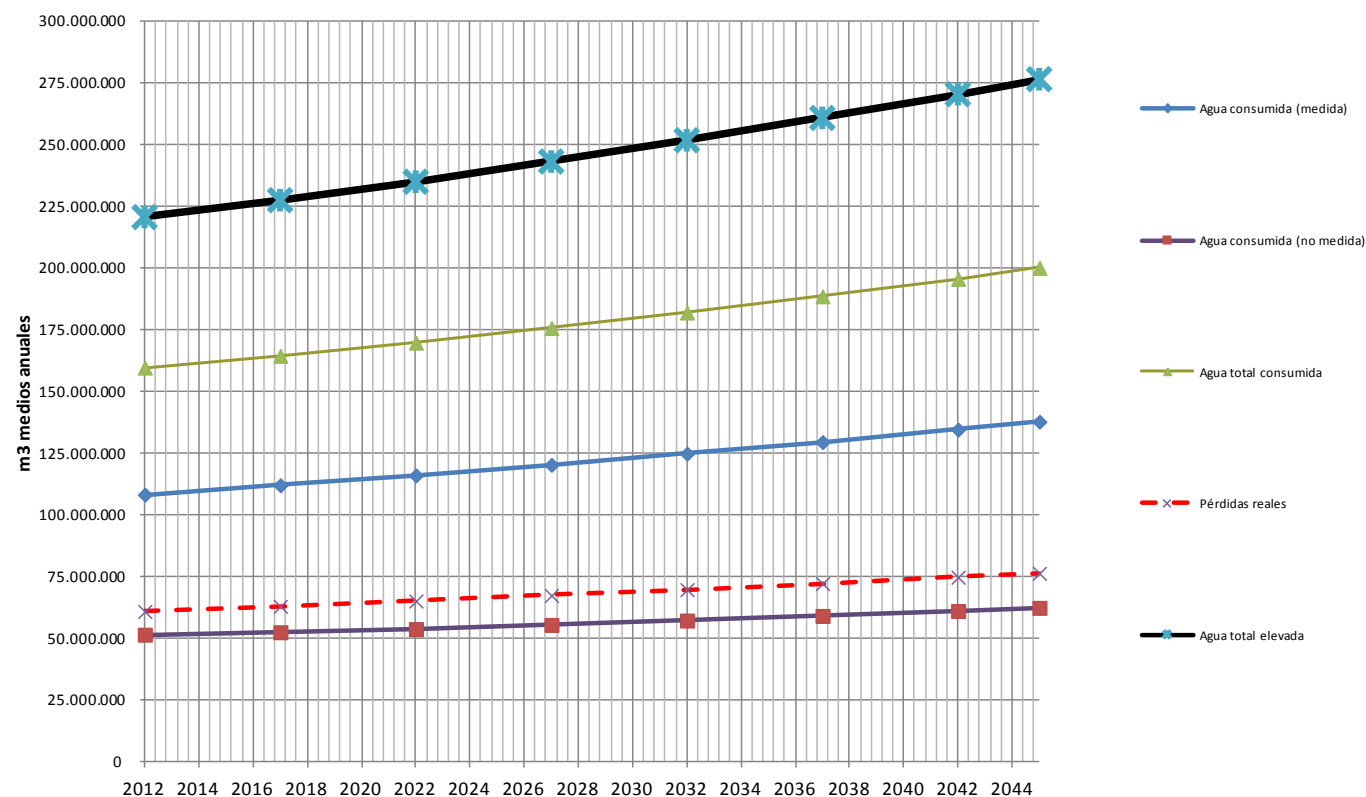
c) TOTAL

Total suministrado Montevideo Metropolitano (Suma de los dos bloques anteriores)	2012	2017	2022	2027	2032	2037	2042	2045
Agua contabilizada (medida)	108.315.788	112.098.741	116.113.375	120.383.656	124.899.087	129.619.390	134.678.046	137.871.380
Agua consumida (no medida o pérdidas aparentes)	51.512.852	52.509.674	53.805.991	55.475.424	57.250.874	59.113.954	61.125.256	62.401.210
Total pérdidas aparentes	159.828.640	164.608.415	169.919.367	175.859.079	182.149.961	188.733.344	195.803.303	200.272.590
Pérdidas reales	60.942.961	63.016.891	65.178.076	67.431.577	69.782.882	72.237.953	74.803.284	76.398.327
Total Agua elevada	220.771.600	227.625.306	235.097.443	243.290.657	251.932.843	260.971.297	270.606.587	276.670.917

Tabla II.11. Cuadros evolución consumos al año horizonte. Hipótesis de máxima demanda.

a) Montevideo. b) Área Metropolitana c) Total Sistema Metropolitano

Distribución de la demanda media anual al año 2045. Máxima demanda. Sin reducción de pérdidas reales



CAPÍTULO III. ESTUDIO DE LA CANTIDAD DEL RECURSO NATURAL

El propósito del presente capítulo es poner de manifiesto el potencial disponible actual y futuro de la cuenca del Río Santa Lucía frente a las necesidades de agua para abastecimiento del Sistema Metropolitano al año 2045, operado bajo estándares de calidad aplicados en aglomeraciones urbanas de similar dimensión.

III.1 Nuevas referencia de periodos secos que condicionan el diseño hidrológico

Existiendo una prolija información en el PDAPM elaborado por el Consorcio SOGREAH, SAFEGE, CSI de mayo de 1999 sobre los recursos hídricos en la cuenca del río Santa Lucía, nos limitaremos a plasmar con datos concretos al año 2012, una visión actualizada de los mismos tomando como referencia los datos de las estaciones de aforo de Florida, Paso Pache, Paso de los Troncos y la estación meteorológica de Libertad. Estos aforos figuran en el Anexo N°1 del presente Capítulo.

De dicho Plan se transcribe literalmente:

“El referido Plan Director de Agua potable, fundamenta sus conclusiones en los datos disponibles sobre el periodo 1978-1997 en las estaciones de la cuenca se recogen en la Tabla 5.1.1-1”.

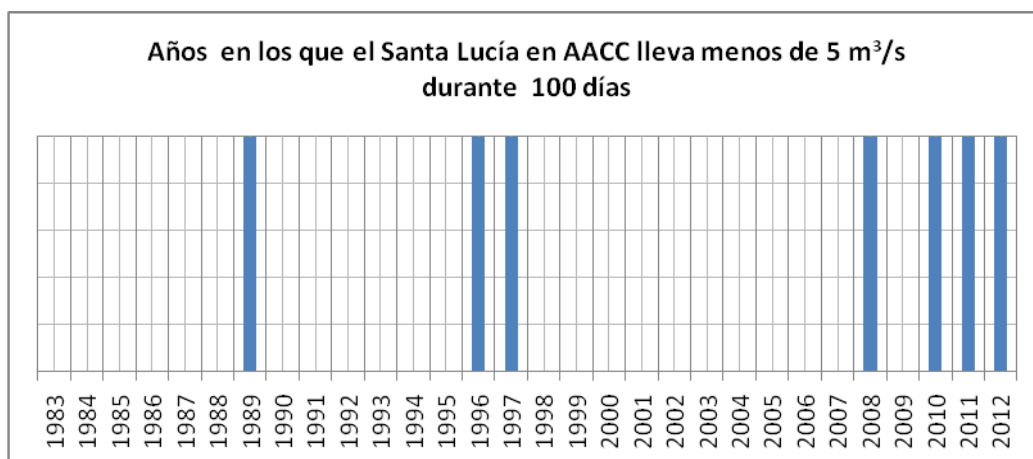
Tabla 5.1.1-1 Estaciones de aforo ubicadas en la cuenca del río Santa Lucía (Periodo 1978-1997)

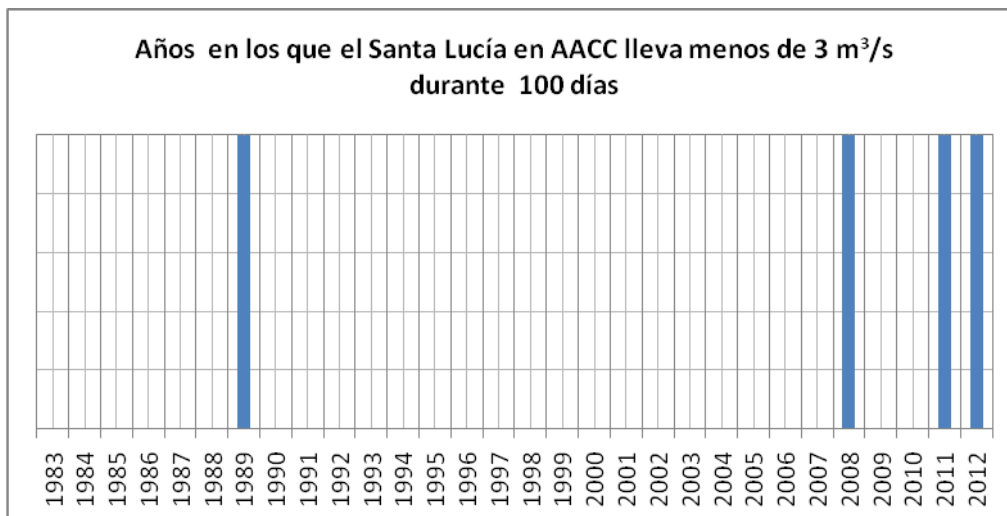
Estación	Río	N°	Superficie de la Cuenca (Km²)	Cantidad de años disponible
Paso de los Troncos	Casupa	119	638	15
Paso Roldan	Santa Lucía	117	1.035	18
Fray Marcos	Santa Lucía	044	2.750	13
San Ramón	Santa Lucía	023	3.140	9
Paso Pache	Santa Lucía	059	4.900	19
Florida	Santa Lucía Chico	053	1.746	15
San José (Presa OSE)	San José	073	2.299	20
Santa Lucía R11	Santa Lucía	113	8.317	15

Pero esta actualización vinculada con los datos reales de caudales diarios incluye un hecho de trascendental importancia: la aparición de un periodo seco peor que el más seco registrado desde 1983 y que es el periodo comprendido entre 2008 a 2011, con un año húmedo intercalado.

Para demostrar la excepcionalidad de este evento, se representan los diagramas siguientes que indican la severidad e intensidad de la falta de aportaciones por la determinación del año en los que se manifiestan durante 100 días como mínimo caudales iguales o menores que los indicados.







Figuras III.1.a, b, c, d, e y f. Río Sta Lucía. Lapsos con caudales inferiores a 8, 7, 6, 5, 4 y 3 m³/s respectivamente, durante 100 días

Por ello el diseño hidrológico de las diversas alternativas y esquemas de solución incorporadas en el referido Plan Director, deberían ser revisadas y actualizadas considerando las nuevas series de aforos.

Los balances hidrológicos y la caracterización de las series se han desarrollado mediante las aplicaciones informáticas que figuran en el Anexo N° 2 del presente Capítulo.

III.2 Evaluación de los recursos hídricos en sus valores medios históricos

La cuenca del Río Santa Lucía en la localidad de Aguas Corrientes, presenta una cuenca de 9.200 km² que comprende los ríos Santa Lucía Chico, Santa Lucía Grande, Arroyo Canelón, Arroyo La Virgen y algún otro arroyo de pequeña cuenca.

Tomando como referencia la serie de lluvias mensuales del periodo 1961 a 2011 en el observatorio de Libertad, se comprueba que el módulo anual de lluvias medio en el periodo indicado es de 1.076 mm/año.

En estas condiciones medias (que constituyen tan solo una referencia) la cantidad de agua que precipita en la cuenca se puede cifrar en $1076 \times 9.200 \times 10^{(-3)} = 9.900$ millones de m³ de agua precipitada al año y que se convierte en escorrentía superficial en un 35% aproximadamente lo que supone unos 3.465 millones de m³ al año, siendo las necesidades de abastecimiento muy inferiores a esta cifra, por lo cual se puede afirmar que en valores medios anuales se dispone de recursos hídricos suficientes.

Observando el cuadro de la pluviometría mensual del observatorio de Libertad, se aprecia que incluso en el año más seco registrado en 1979, con 591,8 mm tan solo precipitados, la aportación fluyente sería aproximadamente de 1.200 millones de m³, rebajando hasta el 23% el coeficiente de transferencia representativo de un año seco.

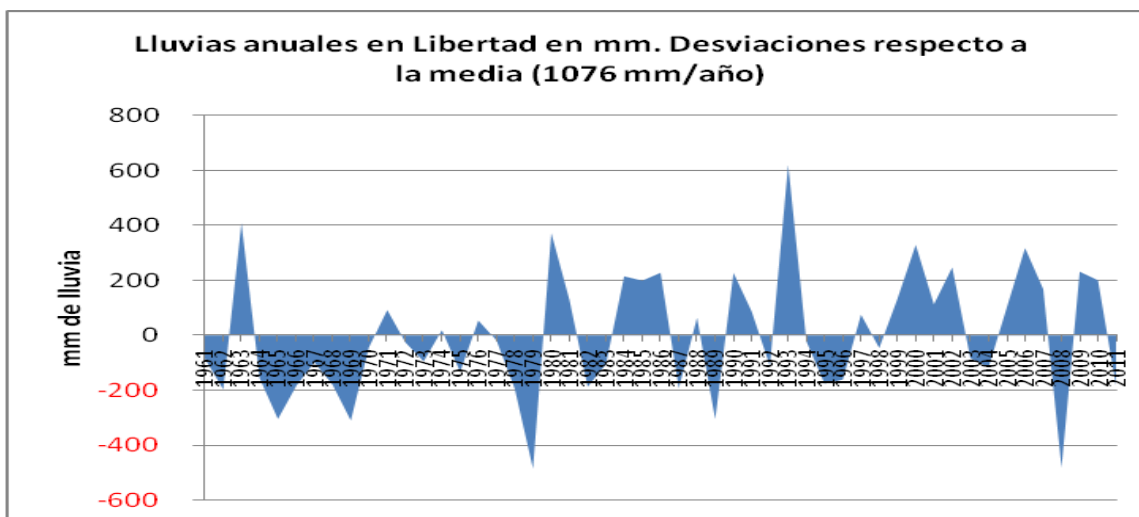


Figura III.2. Lluvias en estación Libertad. Período 1961-2011. Valores en mm

PLUVIOMETRÍA MENSUAL EN LIBERTAD (mm)

Años	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
1.961	165,0	61,0	146,0	63,0	121,0	129,0	37,0	16,0	37,0	106,0	61,0	50,0	992,0
1.962	75,0	26,0	47,0	250,0	42,0	23,0	113,0	66,0	94,0	39,0	41,0	64,0	880,0
1.963	156,0	99,0	275,0	70,0	67,0	130,0	61,0	103,0	154,0	67,0	177,0	127,0	1.486,0
1.964	15,0	173,0	131,0	78,0	61,0	63,0	18,0	57,0	71,0	112,0	57,0	85,0	921,0
1.965	70,0	90,0	25,0	150,0	33,0	33,5	100,0	33,0	36,0	2,0	109,0	91,0	772,5
1.966	50,0	92,1	300,0	89,0	36,0	105,0	51,0	15,5	22,0	65,0	59,0	7,5	892,1
1.967	12,0	82,0	39,5	28,0	136,5	119,0	110,0	79,0	51,0	253,0	61,0	8,0	979,0
1.968	29,5	62,0	23,0	10,5	45,0	135,0	60,0	32,0	29,0	77,0	125,0	269,0	897,0
1.969	9,0	35,0	85,0	21,0	222,5	67,0	86,0	39,0	47,5	43,5	49,0	62,5	767,0
1.970	97,5	36,0	107,5	57,5	142,0	60,0	101,0	100,5	37,0	176,0	57,0	62,0	1.034,0
1.971	242,0	199,0	45,0	33,5	105,5	90,0	62,0	18,0	134,0	45,0	19,0	176,0	1.169,0
1.972	18,5	56,0	126,0	44,5	84,0	106,0	44,0	155,0	114,0	76,0	67,5	159,5	1.051,0
1.973	87,5	187,0	33,0	180,5	9,0	109,0	162,0	5,0	12,0	132,0	18,0	47,0	982,0
1.974	301,5	58,5	144,0	22,0	121,5	6,0	45,5	179,0	107,0	48,5	22,5	40,0	1.096,0
1.975	110,0	191,0	38,0	32,0	141,5	31,0	80,5	107,5	78,0	22,5	70,0	42,5	944,5
1.976	108,0	16,0	161,0	71,0	49,0	75,0	161,5	64,5	112,0	162,0	49,0	102,0	1.131,0
1.977	57,0	113,5	140,3	29,0	89,0	58,5	32,5	39,0	271,5	104,0	84,0	40,0	1.058,3
1.978	36,0	16,0	84,5	1,0	3,0	120,5	101,0	17,0	155,0	140,0	161,0	46,7	881,7
1.979	26,8	29,0	62,0	6,5	15,0	1,0	20,0	190,0	93,0	41,0	54,0	53,5	591,8
1.980	38,8	206,3	204,4	200,4	114,3	128,0	81,9	55,3	58,1	99,7	230,2	32,2	1.449,6
1.981	76,6	140,3	44,4	94,5	253,6	22,6	94,4	73,4	120,2	83,8	86,9	114,6	1.205,3
1.982	17,3	129,9	64,7	17,4	125,5	159,6	95,4	65,6	101,7	56,2	40,8	15,6	889,7
1.983	24,8	82,8	65,1	66,5	47,2	65,0	26,7	185,2	92,9	154,2	82,7	79,1	972,2
1.984	183,3	204,1	96,0	99,8	108,6	79,4	127,2	18,7	54,8	184,5	88,9	46,5	1.291,8
1.985	67,3	50,9	176,4	151,6	188,7	167,0	25,1	78,0	123,6	148,5	77,5	21,6	1.276,2
1.986	109,8	22,9	40,4	87,4	82,1	123,5	63,8	223,0	141,1	152,1	219,9	38,6	1.304,6
1.987	40,4	187,9	146,5	31,6	40,5	1,0	141,3	40,3	64,7	60,3	62,1	67,8	884,4
1.988	169,7	56,9	436,1	19,0	15,0	6,4	54,0	66,6	33,3	137,0	107,7	39,7	1.141,4
1.989	9,9	55,2	115,2	103,1	15,6	16,6	71,0	150,9	41,1	27,5	74,9	90,6	771,6
1.990	128,3	104,1	78,7	266,1	45,5	40,5	13,5	21,1	79,4	154,7	256,5	116,1	1.304,5
1.991	98,4	75,5	22,3	99,3	77,2	128,1	168,1	104,9	84,2	113,1	113,8	78,6	1.163,5
1.992	40,9	80,8	97,9	128,9	95,4	148,3	54,4	118,8	55,9	88,0	47,2	9,2	965,7
1.993	105,1	339,5	49,8	295,5	84,2	95,0	48,8	48,2	50,8	206,3	193,1	181,8	1.698,1
1.994	27,5	23,8	105,9	102,0	145,1	48,8	120,4	24,1	64,6	158,5	144,9	89,9	1.055,5
1.995	68,1	142,6	113,8	100,2	55,0	60,8	68,2	19,0	44,8	53,1	154,2	21,1	900,9
1.996	61,8	66,1	58,8	202,7	23,3	65,0	54,8	31,1	128,1	82,2	111,7	30,5	916,1
1.997	75,6	65,2	52,7	49,7	114,1	74,6	44,5	157,0	24,1	90,5	37,0	367,4	1.152,4
1.998	159,4	43,3	112,5	100,0	48,8	40,0	106,1	15,6	83,5	21,3	77,8	222,5	1.030,8
1.999	240,5	122,3	208,6	67,0	46,9	57,3	100,8	96,4	98,5	63,6	38,1	70,7	1.210,7
2.000	36,0	79,0	87,7	175,6	230,4	149,5	108,1	121,0	121,5	115,2	89,0	93,7	1.406,7
2.001	134,0	105,0	189,8	30,0	55,0	119,0	61,0	127,7	56,0	168,0	97,0	47,0	1.189,5
2.002	59,0	55,0	481,0	66,0	176,0	12,0	77,5	75,0	51,0	55,0	128,0	89,0	1.324,5

PLUVIOMETRÍA MENSUAL EN LIBERTAD (mm) (Continuación)

Años	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
2.003	37,0	114,0	7,0	25,0	67,0	87,0	57,0	62,0	236,0	57,0	162,0	83,0	994,0
2.004	100,5	46,0	22,0	228,0	38,0	41,0	55,0	54,0	32,0	153,0	148,0	43,0	960,5
2.005	298,0	46,0	53,0	236,0	67,0	177,0	71,0	53,0	90,0	10,0	38,0	40,0	1.179,0
2.006	249,0	125,0	229,0	43,0	14,0	234,0	47,0	50,0	34,0	114,0	121,0	135,0	1.395,0
2.007	39,0	116,0	291,0	203,0	78,0	32,0	19,0	51,0	159,0	178,0	48,0	31,0	1.245,0
2.008	78,0	94,0	68,0	26,0	63,0	69,0	69,0	51,0	23,0	39,0	1,0	15,0	596,0
2.009	54,0	175,0	211,0	5,0	88,5	121,0	148,0	51,0	60,0	212,0	112,0	71,0	1.308,5
2.010	116,8	203,0	33,0	116,0	145,0	89,0	180,0	105,0	118,0	54,0	41,0	77,0	1.277,8
2.011	40,0	51,0	68,0	104,0	61,0	146,0	79,0	119,0	18,0	61,0	104,0	42,0	893,0
Promedio	91,2	98,7	118,5	93,7	85,0	83,6	78,0	75,1	82,3	99,3	91,7	79,1	1.076,1
Desviación típica	73,4	65,1	99,4	75,4	57,9	51,9	41,1	52,2	52,5	57,8	56,5	67,3	222,9

Tabla III.1. Datos pluviométricos en estación Libertad. Período 1961-2011

Los valores medios anuales de la serie histórica se pueden ratificar tomando los datos diarios de caudales extraídos de las estaciones de aforo consultadas (1983-2012), que se resumen en la tabla siguiente.

Estación de aforo	Cuenca (Km ²)	m ³ /s promedio	hm ³ /día promedio	Aportación media anual (hm ³)
Aguas Corrientes	9.200	116,569	10,072	3.676
Paso Pache	4.919	61,712	5,332	1.946
Paso Severino	2.500	32,783	2,760	1.033
Florida	1.740	23,000	1,987	725
Sta Lucía Grande	6.700	84,893	7,335	2.677

Tabla III.2. Aportaciones medias anuales en las estaciones de aforo de la Cuenca. Promedios del período 1983-2012

Para visualizar la diferencia que se presenta en sequía, se consideró un año de escasa precipitación como el 2008, con precipitaciones de 596 mm. Los valores obtenidos se presentan en la Tabla III.3.

Estación de aforo	Cuenca (Km ²)	m ³ /s	hm ³ /día	Aportación media anual (hm ³)	q específico en año seco l/s/km ²
Aguas Corrientes	9.200	38,599	3,335	1.217	4,196
Paso Pache	4.919	2,381	0,206	75	0,484
Paso Severino	2.500	3,909	0,338	123	1,563
Florida	1.740	0,719	0,062	23	0,413
Sta Lucía Grande	6.700	28,110	2,429	886	4,196

Tabla III.3. Aportaciones medias anuales en las estaciones de aforo de la Cuenca en años secos. Año 2008

III.3 Distribución de las aportaciones naturales en periodos secos

Estudiando las referidas series de aportaciones diarias se aprecia la importantísima variabilidad de los caudales fluyentes. Además un mismo mes puede comportarse de forma muy diferente de un año a otro, observándose persistencias de días con caudales bajos lo mismo un mes que otro. Lo que confiere al sistema una elevada incertidumbre que justifica como contrapartida un alto nivel de resguardo.

En el gráfico siguiente, se reproduce la curva de caudales clasificados en Aguas Corrientes, descontando los caudales regulados en Paso Severino, para identificar el % del tiempo en el que el caudal por el río Santa Lucía no lleva aportaciones suficientes para atender la demanda. Así para una demanda de $7 \text{ m}^3/\text{s}$, un 75% del tiempo el río cumpliría su función y por lo tanto un 35% sería necesario complementar a estos insuficientes aportes desde un embalse de almacenamiento.

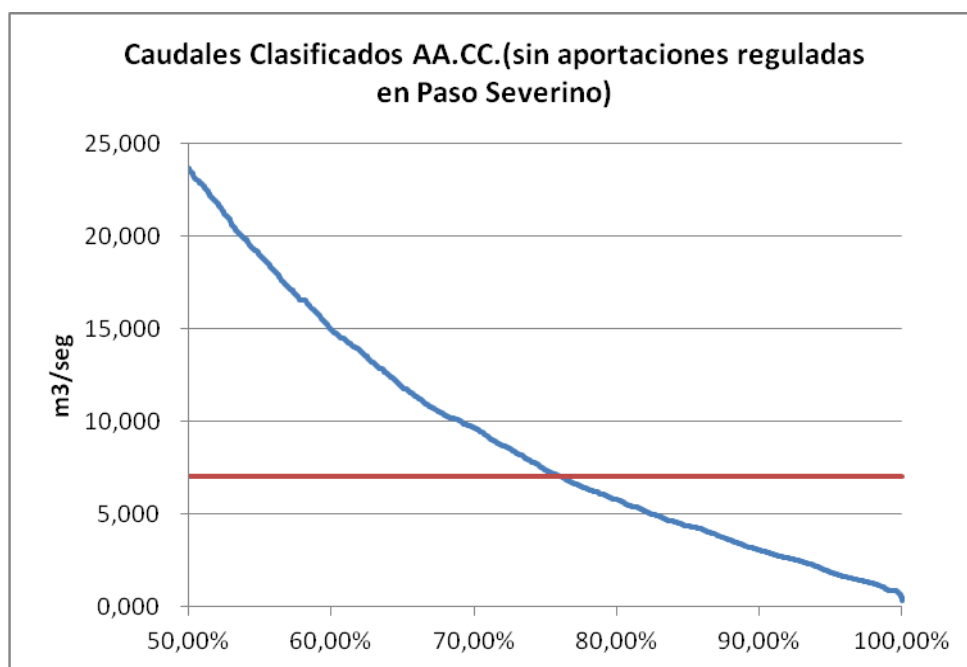


Figura III.3. Frecuencia de disponibilidad de agua en AACC para demandas de $7 \text{ m}^3/\text{s}$

Es también interesante determinar la duración de estas “rachas” de caudales (se ha tomado 7 m³/s) a partir de los cuales sería preciso detraer del embalse.

Los resultados se muestran en la Tabla III.4 en la que se ha tratado de relacionar cada año con su módulo pluviométrico y con la desviación típica de sus lluvias mensuales.

Años	Nº días en los que el río llevaba menos de 7 m ³ /s (días)	Modulo pluviométrico anual (mm)	Desviación típica (mm)
1.983	92	972	44
1.984	2	1.292	53
1.985	62	1.276	59
1.986	55	1.305	67
1.987	143	884	54
1.988	75	1.141	116
1.989	213	772	41
1.990	40	1.305	83
1.991	90	1.164	35
1.992	91	966	39
1.993	49	1.698	100
1.994	36	1.056	46
1.995	60	901	44
1.996	220	916	50
1.997	139	1.152	93
1.998	3	1.031	56
1.999	23	1.211	45
2.000	75	1.407	43
2.001	3	1.190	49
2.002	18	1.325	123
2.003	0	994	62
2.004	79	961	64
2.005	84	1.179	64
2.006	0	1.395	72
2.007	91	1.245	84
2.008	209	596	27
2.009	69	1.309	64
2.010	148	1.278	52
2.011	222	893	36

Tabla III.4. Aportaciones en AA.CC. Período 1983-2011

En cuanto a la persistencia de estos caudales se identifican “rachas” de más de 200 días en los años 1989 (772 mm), 1996 (916 mm), 2008 (596 mm) y 2011 (893 mm). No necesariamente los años más secos, producen más días con caudales críticos identificándose años húmedos con un notable número de días con caudales críticos. Realizando este análisis para caudales crecientes de 1, 2....hasta 7 m³/s se obtienen los resultados presentados en la Tabla III.5.

Años	1 m ³ /s	2 m ³ /s	3 m ³ /s	4 m ³ /s	5 m ³ /s	6 m ³ /s	7 m ³ /s
1983	54	60	62	64	74	82	92
1984	0	0	0	0	0	0	2
1985	0	0	15	25	43	51	62
1986	0	0	0	3	15	26	55
1987	0	29	46	57	82	121	143
1988	0	0	2	21	40	50	75
1989	12	70	102	139	179	199	213
1990	16	21	26	31	36	38	40
1991	0	0	32	55	72	78	90
1992	0	0	0	19	42	66	91
1993	0	0	0	10	21	33	49
1994	0	0	0	20	24	29	36
1995	0	0	0	14	25	54	60
1996	0	18	67	78	149	177	220
1997	5	42	85	100	123	131	139
1998	1	2	2	2	2	2	3
1999	0	0	5	7	10	16	23
2000	0	30	56	61	65	70	75
2001	0	0	0	0	0	2	3
2002	0	0	0	0	2	12	18
2003	0	0	0	0	0	0	0
2004	0	0	14	31	41	58	79
2005	0	0	3	21	48	75	84
2006	0	0	0	0	0	0	0
2007	9	45	71	81	86	89	91
2008	0	67	126	178	200	206	209
2009	0	15	30	38	52	63	69
2010	16	69	93	102	108	135	148
2011	16	93	161	191	210	212	222

Tabla III.5. Número de días que el río Santa Lucía en AA.CC. no supera los caudales indicados y se necesita complementar la demanda con agua regulada en embalse

La conclusión que se llega del análisis de los resultados del cuadro, son determinantes y deben potenciar la importante función del embalse de Paso Severino por cuanto que debe aportar agua en notables ocasiones.

Cabría pensar si la cobertura del embalse de Paso Severino es suficiente en su actual configuración. La respuesta podría estar fundamentada si se conocieran las aportaciones futuras en el Río Santa Lucía, lo cual es imposible. El nivel de garantía que ofrece un embalse es por tanto un concepto determinista y probabilístico.

Siempre quedaría la opción de reducir los consumos lo que sería en definitiva la mejor manera de conservar la reserva un valores superiores, aspectos vinculados al ahorro del agua mediante su consumo responsable y a la persecución de las fugas de agua en las redes de distribución.

En el gráfico siguiente, se reproduce una realidad vivida muy recientemente que se originó por una utilización de las reservas al límite de sus niveles explotables, como consecuencia de un periodo seco y de una demanda cada vez más elevada.

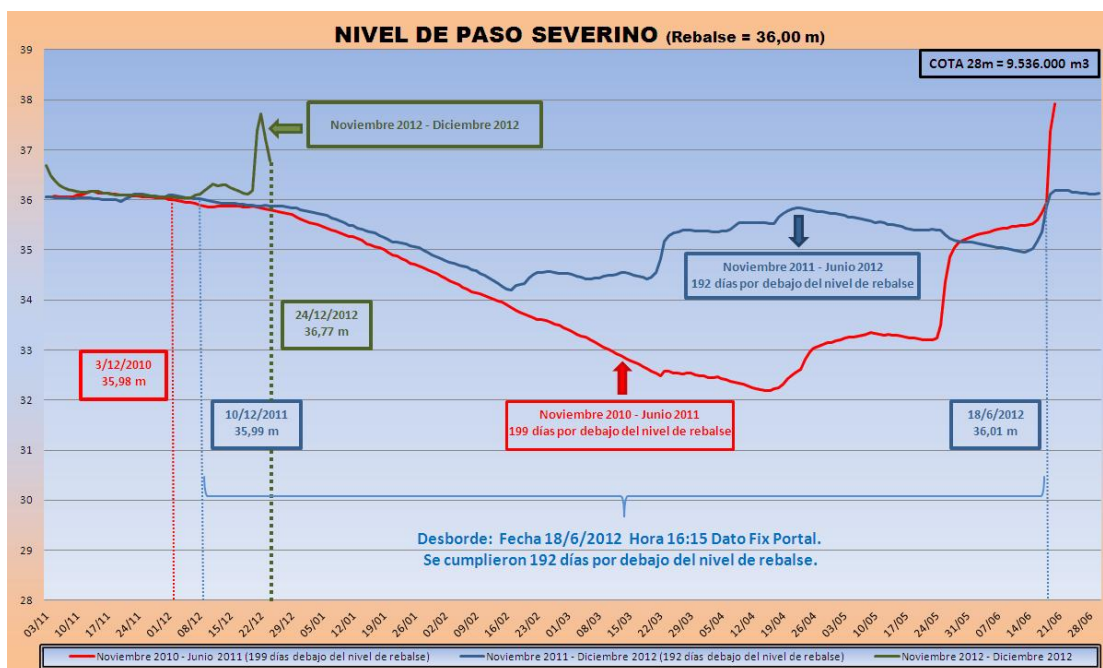


Figura III.4. Nivel en embalse Paso Severino. Comparación para el período noviembre-junio en los años 2010-2012

III.4 Sistemas de explotación de los recursos hídricos

La forma de utilizar de forma optimizada los recursos hídricos depende de varios factores que están relacionados con el comportamiento de los ríos y su capacidad de atender la demanda, de la calidad del recurso en su estado natural y de otros aspectos relacionados con los costos.

En Europa, cuando se desarrollan los abastecimientos de las grandes aglomeraciones urbanas (asentadas junto a cursos de agua), con dotaciones crecientes y con la distribución domiciliaria como objetivo (principios de siglo XX), se encontró con la dificultad de la elevada tasa de contaminación de los recursos naturales (los saneamientos se abordaron posteriormente a partir de los años 1960), que imposibilitaba tomas directas de los ríos.

Por ello los recursos hídricos había que captarlos en las cabeceras de arroyos con cuencas entre los 200 a los 2.000 km², y al embalse se le asignaba el papel de regular más del 50% de caudal medio histórico interceptado. La aducción tenía que ser forzosamente entubada, a favor de la gravedad, con lo cual los sistemas de abastecimiento se desarrollaron de forma muy segura y con escaso gasto energético. En este tipo de esquema de aprovechamiento el embalse debe aportar siempre la totalidad de las necesidades sin vaciarse y con una reserva de seguridad. El volumen se determina recurriendo a las series históricas y la reserva indicada constituye, conjuntamente con el Plan de Contingencia ante sequías los correspondientes coeficientes de seguridad.

En sistemas con aprovechamientos en los cursos bajos de los ríos y con cuencas mayores de 3.000 km², la optimización de los aprovechamientos pasa por utilizar el agua fluyente mientras que las aportaciones instantáneas sean superiores a la demanda instantánea y asignar al embalse la misión de complementar el déficit del río.

Se instruyen sistemas mixtos de operación río-embalse, con buenos resultados pero que minimizan la capacidad del embalse de apoyo para épocas en los que el río no cubre la demanda al 100%. Es el caso del sistema de explotación de Aguas Corrientes que analizaremos en profundidad a continuación.

III.5 Regulación de Santa Lucía Chico por el embalse de Paso Severino

Es conveniente conocer teóricamente hasta dónde puede llegar la cobertura que introduce el embalse de Paso Severino en su concepción actual. Se utilizará el criterio que se aplica en España para valorar la capacidad de regulación que ofrece un cierto volumen de embalse considerando únicamente la cuenca que intercepta y que el embalse de volumen estricto (sin reservas ni espacio muerto, ni resguardo) V (hm^3) será capaz de atender una demanda de D (m^3/s) continuos todos los días del año.

La serie de aportaciones diarias de Paso Severino (1983-2011) es la variable hidrológica y la detracción (1, 2, 3....6 m^3/s) representa la cantidad de agua que se necesita para atender la demanda.

El cálculo se desarrolla según el modelo de planilla que se muestra en la Tabla III.5, en donde:

- (1): Fecha del registro del caudal en la estación de aforo de Florida
- (2): Aportaciones en $\text{hm}^3/\text{día}$ en Paso Severino (2.500 km^2) de cuenca, determinadas por proporcionalidad de cuencas
- (3): Detracciones en $\text{hm}^3/\text{día}$ correspondientes a la demanda estudiada
- (4): Diferencia balance entre entradas (aportaciones) menos salidas (detracciones). Si la diferencia es positiva, el embalse sube y si la diferencia es negativa el embalse baja
- (5): Evolución del embalse como consecuencia de (4)
- (6): Cantidad de agua vertida por los aliviaderos como consecuencia de recibir agua estando el embalse lleno
- (7): Columna auxiliar que determina el mayor déficit acumulado y que se corresponderá con el volumen requerido (sin reservas, sin espacios muertos, sin resguardo para laminar avenidas)

NO SE TIENE EN CUENTA LA EVAPORACIÓN

(1) Fecha	(2) APORTACIONES PASO SEVERINO (hm3/día)	(3) Detracción (hm3/día)	(4) Balance (A-d)	(5) Evolución Embalse	(6) Vertidos	(7) Nivel Seguridad
01/01/1983	0,028	0,130	-0,102	70,000	0,000	4,965
02/01/1983	0,028	0,130	-0,102	69,898	0,000	4,863
03/01/1983	0,028	0,130	-0,102	69,796	0,000	4,761
04/01/1983	0,028	0,130	-0,102	69,694	0,000	4,659
05/01/1983	0,028	0,130	-0,102	69,592	0,000	4,557
06/01/1983	0,028	0,130	-0,102	69,490	0,000	4,455
07/01/1983	0,028	0,130	-0,102	69,388	0,000	4,353
08/01/1983	0,028	0,130	-0,102	69,287	0,000	4,251
09/01/1983	0,028	0,130	-0,102	69,185	0,000	4,149
10/01/1983	0,028	0,130	-0,102	69,083	0,000	4,047
11/01/1983	0,028	0,130	-0,102	68,981	0,000	3,945
12/01/1983	0,028	0,130	-0,102	68,879	0,000	3,843
13/01/1983	0,028	0,130	-0,102	68,777	0,000	3,742
14/01/1983	0,029	0,130	-0,101	68,676	0,000	3,640
15/01/1983	0,037	0,130	-0,093	68,583	0,000	3,539
16/01/1983	0,029	0,130	-0,101	68,482	0,000	3,446
17/01/1983	0,028	0,130	-0,102	68,380	0,000	3,345
18/01/1983	0,028	0,130	-0,102	68,279	0,000	3,243
19/01/1983	0,028	0,130	-0,102	68,177	0,000	3,141
20/01/1983	0,028	0,130	-0,102	68,075	0,000	3,039
21/01/1983	0,028	0,130	-0,102	67,973	0,000	2,937
22/01/1983	0,028	0,130	-0,102	67,871	0,000	2,835
23/01/1983	0,028	0,130	-0,102	67,769	0,000	2,734
24/01/1983	0,031	0,130	-0,099	67,670	0,000	2,632
25/01/1983	0,043	0,130	-0,087	67,583	0,000	2,533
26/01/1983	0,028	0,130	-0,102	67,481	0,000	2,446
27/01/1983	0,028	0,130	-0,102	67,379	0,000	2,344
28/01/1983	0,028	0,130	-0,102	67,278	0,000	2,242
01/02/1983	0,029	0,130	-0,101	66,884	0,000	1,847

Tabla III.6. Planilla de cálculo de curva de regulación específica

Se ha realizado este mismo cálculo suponiendo detracciones continuas (los 365 días del año) de 1, 2...6 m³/s, siendo los resultados los que se presentan en la Tabla III.6 (expresados en % de la aportación media anual: 1.033 hm³/año) y considerando todo el embalse útil de 70 hm³.

Paso Severino. Aportación media anual=1.033 hm ³ /año					
Detracción (m ³ /s)	Volumen necesario (hm ³)	Máximo volumen disponible (hm ³)	Mínimo Embalse (hm ³)	Caudal regulado en % de la aportación media anual	Volumen de embalse necesario en % de la aportación media anual
1,0	8,164	70,000	61,836	3,05%	0,79%
2,0	22,126	70,000	47,874	6,10%	2,14%
3,0	36,662	70,000	33,338	9,15%	3,55%
4,0	51,264	70,000	18,736	12,20%	4,96%
5,0	86,831	70,000	0,000	15,25%	8,40%
6,0	128,775	70,000	0,000	18,30%	12,46%

Tabla III.7. Aportaciones de Pº Severino para detracciones continuas de 1 a 6 m³/s considerando todo el volumen de embalse

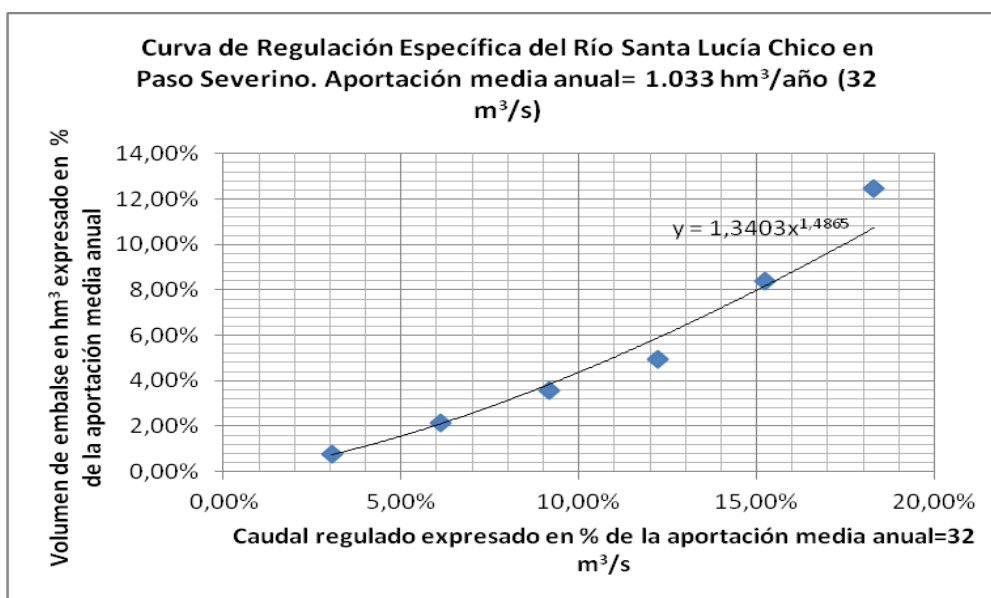


Figura III.5. Curva de regulación del río Sta. Lucía Chico en Paso Severino considerando un volumen de embalse de 70 hm³

El caudal regulado en estas condiciones estaría entre 4.5 y 4.6 m³/s, pero si se considera que 10 hm³ son inutilizables y que es preciso asignar una cierta reserva de 50 días del caudal regulado, para 70 hm³ los resultados son los siguientes:

Paso Severino. Aportación media anual =1.033 hm ³ /año					
Detracción (m ³ /s)	Volumen necesario (hm ³)	Máximo volumen disponible (hm ³)	Mínimo Embalse (hm ³)	Caudal regulado en % de la aportación media anual	Volumen de embalse necesario en % de la aportación media anual
1,0	8,164	22,484	14,320	3,05%	0,79%
1,5	14,923	31,403	16,480	4,58%	1,44%
2,0	22,126	40,766	18,640	6,10%	2,14%
2,5	29,384	50,184	20,800	7,63%	2,84%
3,0	36,662	59,622	22,960	9,15%	3,55%
3,5	43,963	69,083	25,120	10,68%	4,25%

Tabla III.8. Aportaciones de P° Severino para detracciones continuas de 1 a 6 m³/s para el volumen útil del embalse

El caudal regulado en estas condiciones sería de 3.5 m³/s, equivalentes a la mitad del consumo medio actual.

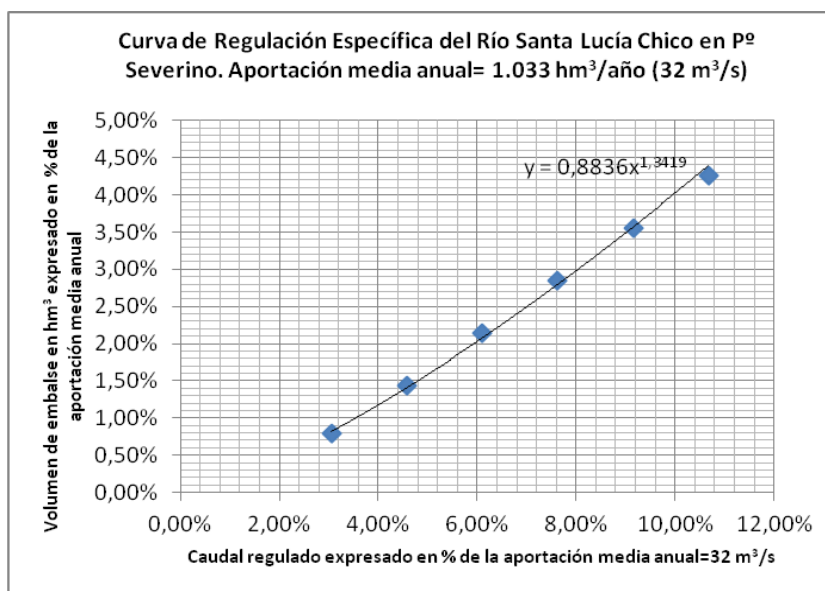


Figura III.6. Curva de regulación del río Sta. Lucía Chico en Paso Severino para el volumen útil de embalse

Considerando el efecto de un recrecido del embalse de paso Severino hasta los 100 hm³, que 10 hm³ son inutilizables y teniendo en cuenta una reserva de 50 días del caudal regulado, los resultados son los siguientes:

Paso Severino. Aportación media anual =1.033 hm ³ /año					
Detracción (m ³ /s)	Volumen necesario (hm ³)	Máximo volumen disponible (hm ³)	Mínimo Embalse (hm ³)	Caudal regulado en % de la aportación media anual	Volumen de embalse necesario en % de la aportación media anual
2,075	23,215	42,179	18,964	6,33%	2,25%
2,575	30,472	51,596	21,124	7,85%	2,95%
3,075	37,757	61,041	23,284	9,38%	3,65%
3,575	45,058	70,502	25,444	10,91%	4,36%
4,075	52,359	79,963	27,604	12,43%	5,06%
4,575	69,792	99,556	29,764	13,96%	6,75%

Tabla III.9. Aportaciones de P° Severino para detracciones continuas de 1 a 6 m³/s considerando el embalse recrecido a 100 hm³

El recrecido hasta los 100 hm³, supondría un incremento en regulación pura de 4,575-3,500=1,075 m³/s.

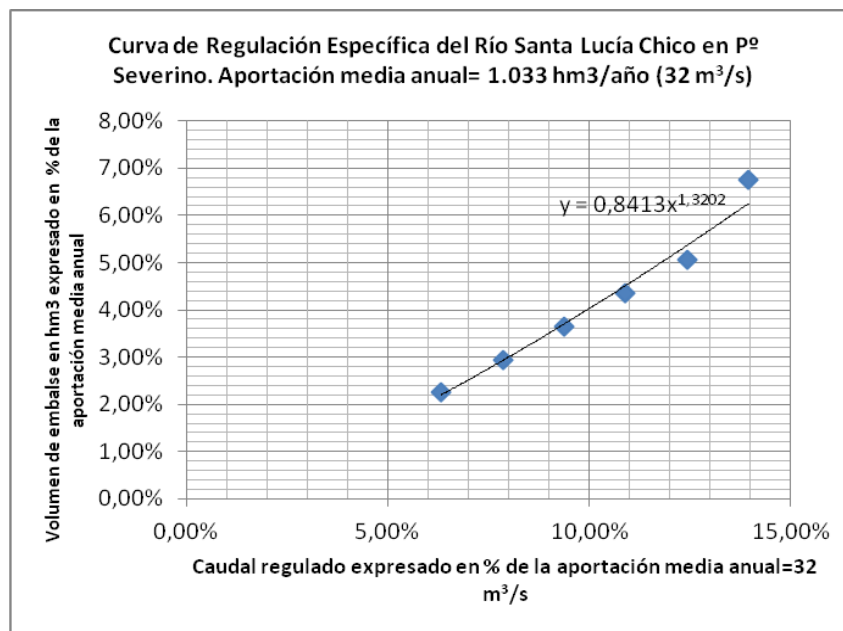


Figura III.7. Curva de regulación del río Sta. Lucía Chico en Paso Severino para el volumen de embalse recrecido

III.6 Análisis del comportamiento del Sistema en su configuración actual, sin utilización del bombeo del remanso del río Santa Lucía aguas abajo de la Usina de Aguas Corrientes

Estudiada la regulación del río Santa Lucía Chico en el embalse de Paso Severino, se analizarán los resultados por simulación de la serie histórica, para determinar el comportamiento del embalse de Paso Severino, con necesidades crecientes de agua, considerando que, por motivos de calidad, no puede utilizarse el bombeo del remanso del río Santa Lucía aguas debajo de la Usina de Aguas Corrientes. La serie de aportaciones diarias de Paso Severino (1983-2011) y Río Santa Lucía (1983-2011) son las variables hidrológicas y la detracción (5, 6, 7, 8, 9, 10 m³/s) representa la cantidad de agua que se necesita para atender la demanda. El cálculo se desarrolla según la planilla de la Tabla III.10, en donde:

- (1): Fecha del registro del caudal en la estación de aforo
- (2): Aportaciones en hm³/día en río Santa Lucía (incluso A° Canelón) + los vertidos desde Paso Severino)
- (3): Aportaciones en hm³/día en río Santa Lucía Chico (Paso Severino)
- (4): Necesidades de agua en hm³/día correspondientes a la demanda estudiada
- (5): Volúmenes de agua bombeados del río Santa Lucía (hm³/día)
- (6): Volúmenes bombeados provenientes de Paso Severino complementando a los caudales del río para atender a la demanda (hm³/día)
- (7): Balance entre entradas (aportaciones) menos salidas (necesidades). Si la diferencia es positiva, el embalse sube y si la diferencia es negativa el embalse baja
- (8): Caudal ecológico (hm³/día). No se considera
- (9): Evolución del embalse como consecuencia de (7)
- (10): Cantidad de agua vertida por los aliviaderos como consecuencia de recibir agua estando el embalse lleno que se incorporan como aportaciones al río Sta. Lucía Gde
- (11): Columna auxiliar para determinar el % que el embalse permanece por debajo del 50% de su capacidad

NO SE TIENE EN CUENTA LA EVAPORACIÓN

(1) Fecha	(2) Aportaciones AACC Río Santa Lucía (completo +Canelón) +vertidos desde Paso Severino (hm³/día)	(3) Aportación Paso Severino (hm³/día)	(4) Necesidades (hm³/día)	(5) Bombeado río (hm³/día)	(6) Desde Paso Severino (hm³/día)	(7) Entradas-Salidas (hm³)	(8) Caudal ecológico (hm³/día)	(9) Volumen en embalse Paso Severino (hm³)	(10) Vertidos Pº Severino= aportaciones Aguas Corrientes (hm³/día)	(11) N° DÍAS POR DEBAJO 50% RESERVAS
01/01/1983	0,074	0,028	0,475	0,074	0,401	(0,373)	0,000	70,000		0,000
02/01/1983	0,074	0,028	0,475	0,074	0,401	(0,373)	0,000	69,627	0,000	0,000
03/01/1983	0,074	0,028	0,475	0,074	0,401	(0,373)	0,000	69,253	0,000	0,000
04/01/1983	0,074	0,028	0,475	0,074	0,401	(0,373)	0,000	68,880	0,000	0,000
05/01/1983	0,074	0,028	0,475	0,074	0,401	(0,373)	0,000	68,507	0,000	0,000
06/01/1983	0,074	0,028	0,475	0,074	0,401	(0,373)	0,000	68,133	0,000	0,000
07/01/1983	0,074	0,028	0,475	0,074	0,401	(0,373)	0,000	67,760	0,000	0,000
08/01/1983	0,074	0,028	0,475	0,074	0,401	(0,373)	0,000	67,387	0,000	0,000
09/01/1983	0,074	0,028	0,475	0,074	0,401	(0,373)	0,000	67,013	0,000	0,000
10/01/1983	0,074	0,028	0,475	0,074	0,401	(0,373)	0,000	66,640	0,000	0,000
11/01/1983	0,074	0,028	0,475	0,074	0,401	(0,373)	0,000	66,267	0,000	0,000
12/01/1983	0,074	0,028	0,475	0,074	0,401	(0,373)	0,000	65,893	0,000	0,000
13/01/1983	0,074	0,028	0,475	0,074	0,401	(0,373)	0,000	65,520	0,000	0,000
14/01/1983	0,077	0,029	0,475	0,077	0,399	(0,370)	0,000	65,150	0,000	0,000
15/01/1983	0,098	0,037	0,475	0,098	0,377	(0,340)	0,000	64,810	0,000	0,000
16/01/1983	0,078	0,029	0,475	0,078	0,398	(0,369)	0,000	64,441	0,000	0,000
17/01/1983	0,074	0,028	0,475	0,074	0,401	(0,373)	0,000	64,068	0,000	0,000
18/01/1983	0,074	0,028	0,475	0,074	0,401	(0,373)	0,000	63,695	0,000	0,000
19/01/1983	0,074	0,028	0,475	0,074	0,401	(0,373)	0,000	63,321	0,000	0,000
20/01/1983	0,074	0,028	0,475	0,074	0,401	(0,373)	0,000	62,948	0,000	0,000

Tabla III.10. Planilla de cálculo utilizada para simulación serie histórica 1983-2011

Como ya se mencionó, en estos cálculos no se tuvo en cuenta el efecto del bombeo de las aguas del remanso del río Santa Lucía, aguas abajo de la Usina de Aguas Corrientes.

En las siguientes tablas y figuras se presentan los resultados de las corridas del modelo, para demandas de 5, 6, 7, 8 y 9 m³/s.

Demanda (m ³ /s)	5,000							
DEMANDA MEDIA EN M ³ /DÍA	432.000							
RECURSOS NECESARIOS (+10%)EN M ³ /DÍA	475.200							
Embalse	Superficie Cuenca captada (Km ²)	Volumen embalse (hm ³)	Caudal ecológico en m ³ /s	Nº días por debajo 50% embalse	Mínimo embalse (hm ³)	hm ³ /día promedio	Promedio (m ³ /s)	Máximo volumen incorporado (m ³ /s)
Agua Bombeada de Paso Severino	2.500	70	0,000	0	41,604	0,037	0,434	5,007
Agua bombeada Río Sata Lucía	6.700					0,438	5,066	5,500
Total demanda						0,475	5,500	

Tabla III.11. Resultado de las corridas para demanda de 5 m³/s

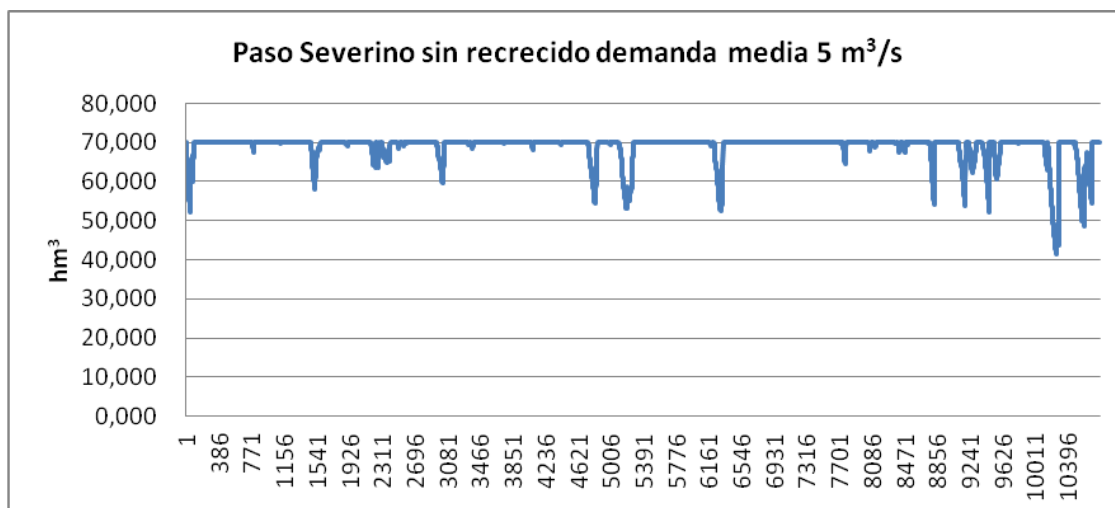


Figura III.8. Resultado de las corridas para demanda de 5 m³/s

Comentarios:

Para 5 m³/s, que reproduce la situación de hace unos años, ni había aparecido un periodo como el año 2008 y siguientes, ni la detracción implicaba descensos preocupantes de las reservas. El embalse nunca descendía del 50% de la capacidad, aun suponiendo la existencia del periodo 2008, antes referido.

Diagnóstico:

El sistema es seguro y con amplios coeficientes de seguridad.

Demanda (m³/s)	6,000							
DEMANDA MEDIA EN M³/DÍA	518.400							
RECURSOS NECESARIOS (+10%) EN M³/DÍA	570.240							
Embalse	Superficie Cuenca captada (Km²)	Volumen embalse (hm³)	Caudal ecológico en m³/s	Nº días por debajo 50% embalse	Mínimo embalse (hm³)	hm³/día promedio	Promedio (m³/s)	Máximo volumen incorporado (m³/s)
Agua Bombeada de Paso Severino	2.500	70	0,000	58	27,330	0,057	0,655	6,107
Agua bombeada Río Sata Lucía	6.700					0,514	5,945	6,600
Total demanda						0,570	6,600	

Tabla III.12. Resultado de las corridas para demanda de 6 m³/s

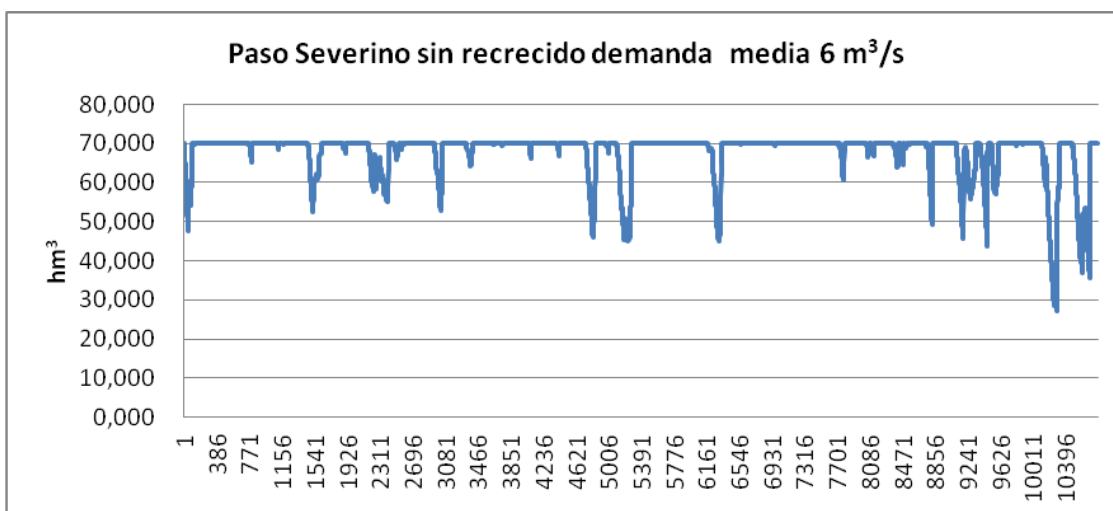


Figura III.9. Resultado de las corridas para demanda de 6 m³/s

Comentarios:

Para 6 m³/s, el sistema tiene un correcto comportamiento y el embalse tan solo desciende 58 días por debajo del 50% de sus reservas, lo cual en los 10770 días estudiados no es significativo. Se presenta un mínimo de 27,330 hm³ (o se hubiera presentado), caso que este caudal de 6 m³/s, hubiese sido necesario con posterioridad del 2008.

Diagnóstico:

El sistema tiene un correcto funcionamiento y puntualmente podrían aparecer episodios de alerta. Un plan de contingencia sería necesario estudiar.

Demanda (m³/s)	7,000							
DEMANDA MEDIA EN M³/DÍA	604.800							
RECURSOS NECESARIOS (+10%) EN M³/DÍA	665.280							
Embalse	Superficie Cuenca captada (Km²)	Volumen embalse (hm³)	Caudal ecológico en m³/s	Nº días por debajo 50% embalse	Mínimo embalse (hm³)	hm³/día promedio	Promedio (m³/s)	Máximo volumen incorporado (m³/s)
Agua Bombeada de Paso Severino	2.500	70	0,000	200	10,499	0,079	0,916	7,207
Agua bombeada Río Sata Lucía	6.700					0,586	6,784	7,700
Total demanda						0,665	7,700	

Tabla III.13. Resultado de las corridas para demanda de 7 m³/s

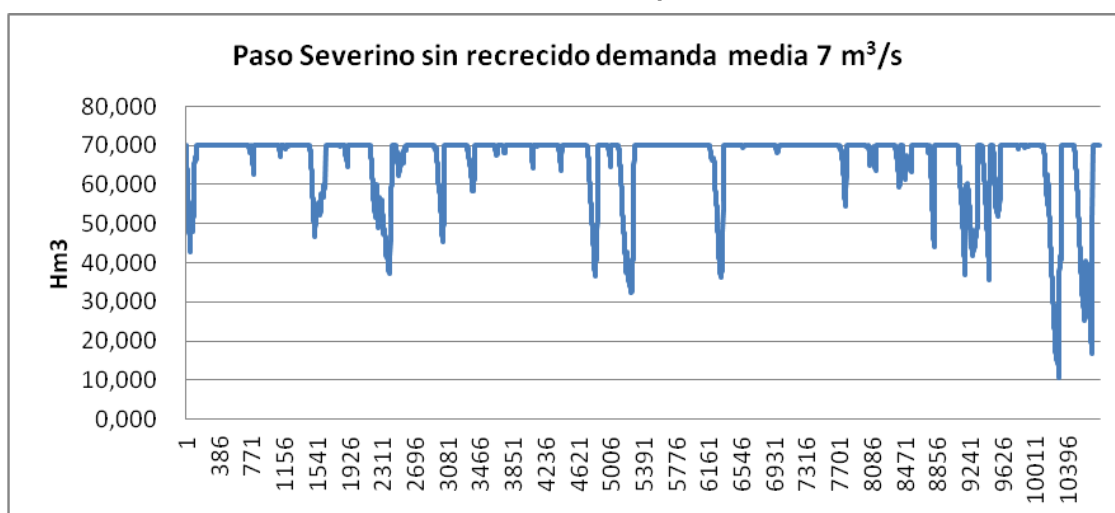


Figura III.10. Resultado de las corridas para demanda de 7 m³/s

Comentarios:

Esta es la situación representativa de la actualidad, y coincidente con la demanda considerada inicialmente (220.771.600 m³/año), equivalentes a 7 m³/s de consumo en distribución y 7,7 m³/s, por las pérdidas en los procesos de aducción y tratamiento. El embalse descendiendo hasta sus límites operativos y se identifican 200 días en los que las reservas descienden por debajo del 50%. En caso de acontecer un período seco, ligeramente más severo (intenso o duradero), se identificarían fallos en el suministro.

Diagnóstico:

El sistema ha llegado a un punto, a partir del cual se mostrará inseguro. Es necesario fijar umbrales de reserva y abastecimientos alternativos.

Demanda (m ³ /s)	8,000							
DEMANDA MEDIA EN M ³ /DÍA	691.200							
RECURSOS NECESARIOS (+10%) EN M ³ /DÍA	760.320							
Embalse	Superficie Cuenca captada (Km ²)	Volumen embalse (hm ³)	Caudal ecológico en m ³ /s	Nº días por debajo 50% embalse	Mínimo embalse (hm ³)	hm ³ /día promedio	Promedio (m ³ /s)	Máximo volumen incorporado (m ³ /s)
Agua Bombeada de Paso Severino	2.500	70	0,000	638	0,000	0,104	1,204	8,307
Agua bombeada Río Sata Lucía	6.700					0,656	7,596	8,800
Total demanda						0,760	8,800	

Tabla III.14. Resultado de las corridas para demanda de 8 m³/s

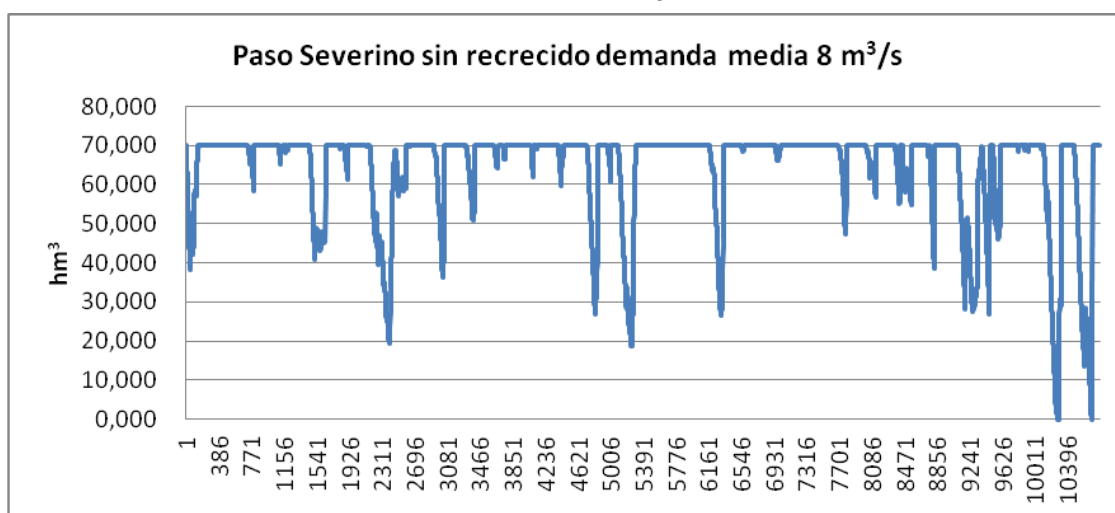


Figura III.11. Resultado de las corridas para demanda de 8 m³/s

Comentarios:

Esta es la situación a largo plazo, en el año 2035, fecha en la que el sistema falla, produciéndose el vaciado total de Paso Severino e identificarse 638 días en el que las reservas descienden por debajo del 50%.

Diagnóstico:

En caso de no haber incorporado unas mayores reservas o haber incrementado las aportaciones naturales con otros esquemas de aprovechamiento, o si la demanda no decrece (plan de reducción de fugas), se deberían implantar fuertes restricciones para no quedar desabastecidos.

Demanda (m³/s)	9,000							
DEMANDA MEDIA EN M³/DÍA	777.600							
RECURSOS NECESARIOS (+10%) EN M³/DÍA	855.360							
Embalse	Superficie Cuenca captada (Km²)	Volumen embalse (hm³)	Caudal ecológico en m³/s	Nº días por debajo 50% embalse	Mínimo embalse (hm³)	hm³/día promedio	Promedio (m³/s)	Máximo volumen incorporado (m³/s)
Agua Bombeada de Paso Severino	2.500	70	0,000	1.080	0,000	0,131	1,517	9,407
Agua bombeada Río Sata Lucía	6.700					0,724	8,383	9,900
Total demanda						0,855	9,900	

Tabla III.15. Resultado de las corridas para demanda de 9 m³/s

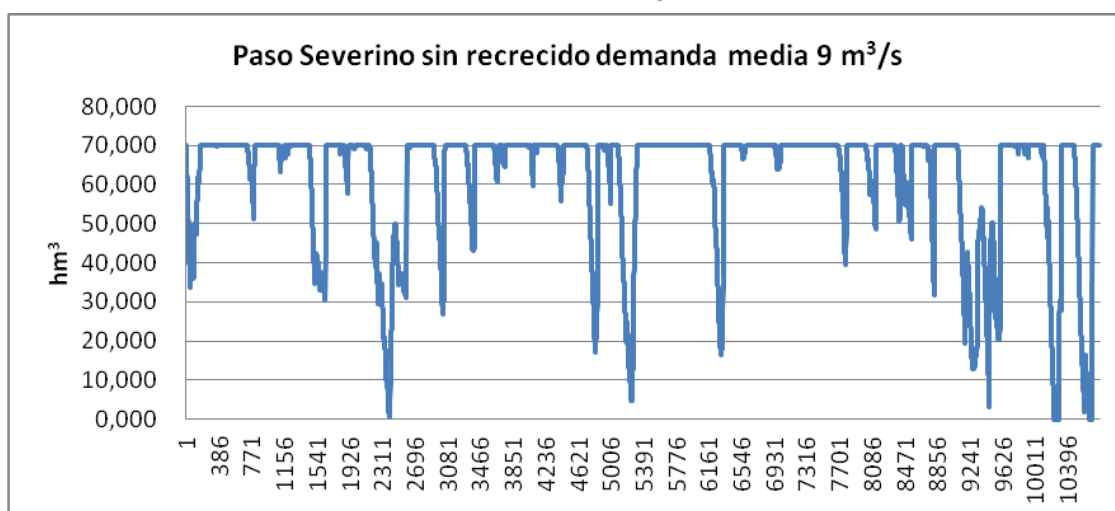


Figura III.12. Resultado de las corridas para demanda de 9 m³/s

Comentarios:

Esta es la situación al final del año horizonte 2045. El sistema está colapsado.

Diagnóstico:

No se debe producir este escenario, previamente se deberían ir tomando medidas e incorporando recursos.

III.7 Resultados del comportamiento del Sistema en su configuración actual, con la utilización del bombeo del remanso del río Santa Lucía aguas abajo de la Usina de Aguas Corrientes

Se presentan a continuación los esquemas representativos del comportamiento del Sistema, comenzando con demandas de 7 m³/s. En base a valores promedio reales, se ha considerado para la simulación del bombeo de aguas abajo de la Usina, un aporte constante de 1 m³/s.

Demanda (m ³ /s)	7,000							
DEMANDA MEDIA EN M ³ /DÍA	604.800							
RECURSOS NECESARIOS (+10%) EN M ³ /DÍA	656.208							
Embalse	Superficie Cuenca captada (Km ²)	Volumen embalse (hm ³)	Caudal ecológico en m ³ /seg	Nº días por debajo 50% embalse	Mínimo embalse (hm ³)	hm ³ /día promedio	Promedio (m ³ /s)	Máximo volumen incorporado (m ³ /s)
Agua Bombeada de Paso Severino	2.500	70	0,000	169	12,119	0,077	0,890	7,102
Agua bombeada Río Santa Lucía	6.700					0,579	6,705	7,595
Bombeo remanso Sta. Lucía (m ³ /seg) promedio			1,000	56	27,804			
Activación (por volumen)		70						
Total demanda						0,656	7,595	

Tabla III.16. Esquema del comportamiento del sistema para demanda de 7 m³/s

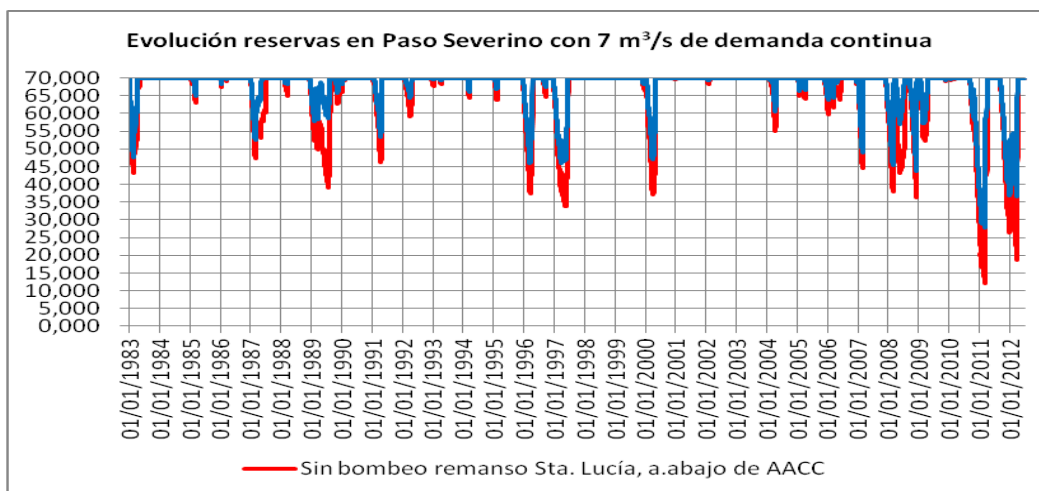


Figura III.13. Evolución reservas Paso Severino con 7m³/s de demanda continua

Demanda (m ³ /s)	8,000							
DEMANDA MEDIA EN M ³ /DÍA	691.200							
RECURSOS NECESARIOS (+10%)EN M ³ /DÍA	749.952							
Embalse	Superficie Cuenca captada (Km ²)	Volumen en embalse (hm ³)	Caudal ecológico en m ³ /s	Nº días por debajo 50% embalse	Mínimo embalse (hm ³)	hm ³ /día promedio	Promedio (m ³ /s)	Máximo volumen incorporado (m ³ /s)
Agua Bombeada de Paso Severino	2.500	70	0,000	597	0,000	0,101	1,170	8,187
Agua bombeada Río Santa Lucía	6.700					0,649	7,510	8,680
Bombeo remanso Sta. Lucía (m3/seg) promedio			1,000	173	11,148			
Activación (por volumen)		70						
Total demanda						0,750	8,680	

Tabla III.17. Esquema del comportamiento del sistema para demanda de 8 m³/s

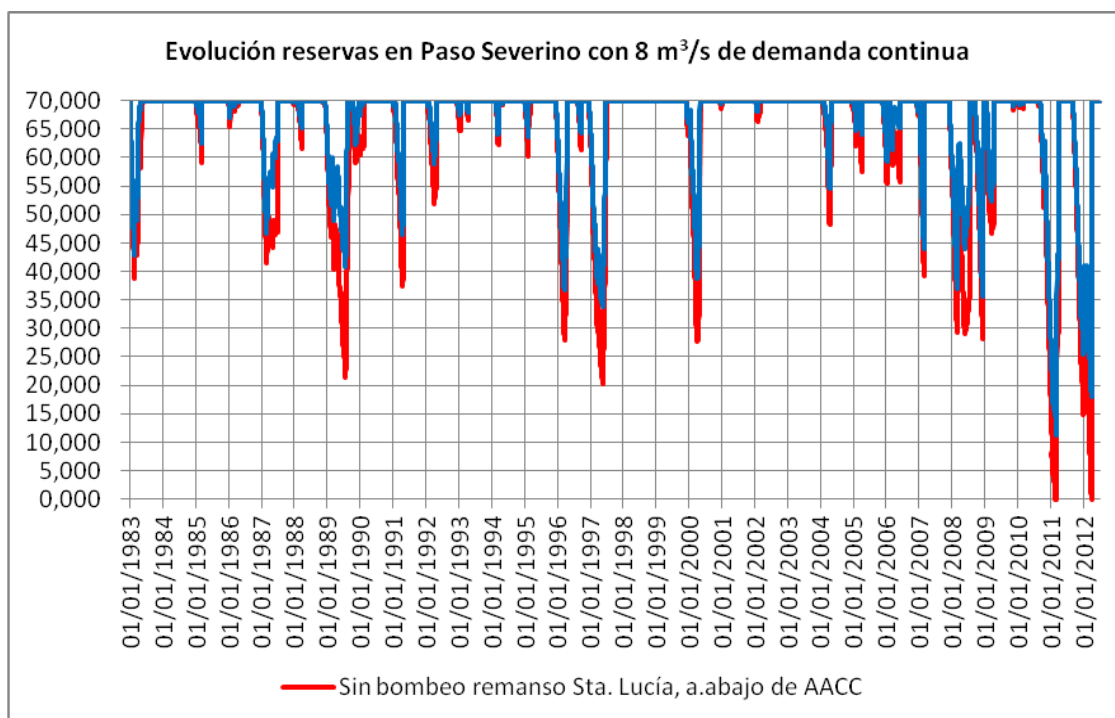


Figura III.14. Resultado de las corridas para demanda de 8 m³/s

Diagnóstico:

El sistema falla sin bombeo. Con el bombeo desciende hasta 11,148 hm³ por debajo de los límites de la operatividad.

Demanda (m³/s)	9,000							
DEMANDA MEDIA EN M³/DÍA	777.600							
RECURSOS NECESARIOS (+10%) EN M³/DÍA	843.696							
Embalse	Superficie Cuenca captada (Km²)	Volumen embalse (hm³)	Caudal ecológico en m³/s	Nº días por debajo 50% embalse	Mínimo embalse (hm³)	hm³/día promedio	Promedio (m³/s)	Máximo volumen incorporado (m³/s)
Agua Bombeada de Paso Severino	2.500	70	0,000	968	0,000	0,128	1,477	9,272
Agua bombeada Río Santa Lucía	6.700					0,716	8,288	9,765
Bombeo remanso Sta. Lucía (m³/seg) promedio			1,000	564	0,000			
Activación (por volumen)		70						
Total demanda						0,844	9,765	

Tabla III.18. Esquema del comportamiento del sistema para demanda de 9 m³/s

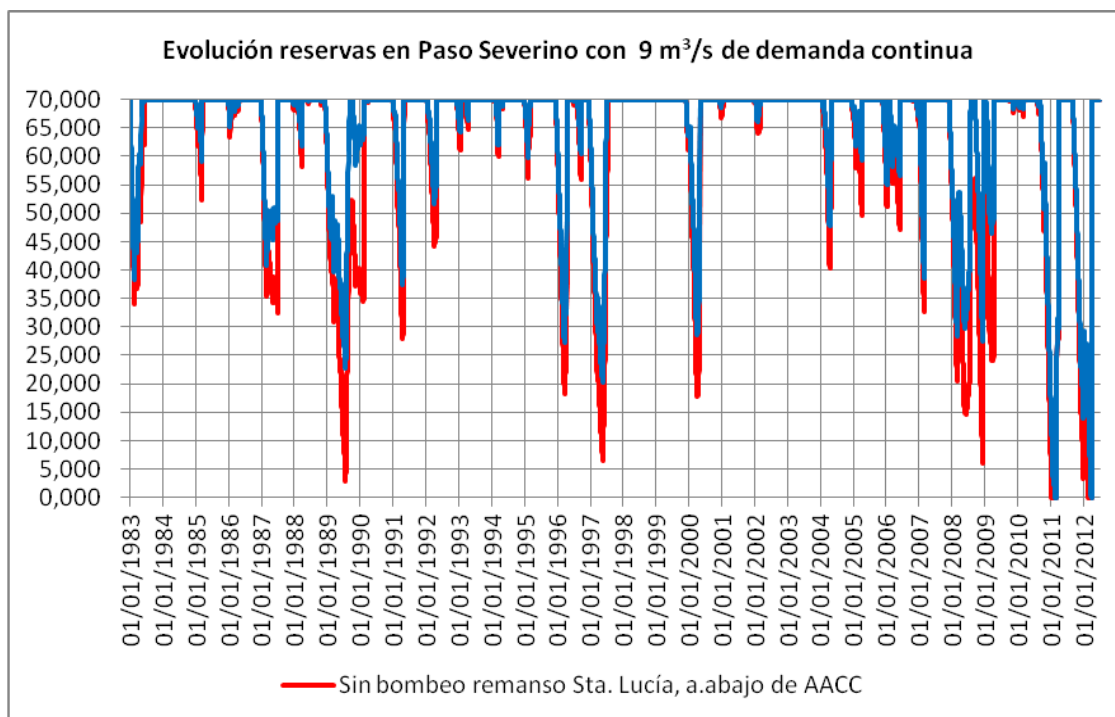


Figura III.15. Resultado de las corridas para demanda de 9 m³/s

Diagnóstico:

Para esta demanda, el sistema se colapsa.

III.8 Resumen de resultados de operación de los sistemas

Para la demanda actual, considerada en 7 m³/s de valor promedio anual, se realizan comentarios diferenciando los casos en que el abastecimiento se efectuara en forma continua o discontinua desde el embalse de Paso Severino.

III.8.1 Sistema de abastecimiento en continuo del río Santa Lucía Chico a través del embalse de Paso Severino

- No es viable en la actualidad, aunque puede constituir una correcta alternativa a futuro puesto que protege de manera muy efectiva los aspectos de calidad
- Las posibilidades máximas de regulación considerando el volumen útil de Paso Severino y una reserva de 50 días del caudal regulado, permiten erogar 3,5m³/s continuos durante todo el año
- Esto significa que el Río Santa Lucía debería aportar siempre como mínimo otros 3,5 m³/s, situación que no se cumpliría en el 10,95% de los días (1.179 días de 10.772 días de la serie)
- Otra/s alternativa/s sería añadir nuevos recursos regulados que aportaran en estiaje (o cuando fuera necesario) los 3,5 m³/s restantes, o los caudales necesarios si la remanda a cubrir superara los 7 m³/s que se han puesto como referencia
- El recrecio a 100 hm³ de Paso Severino elevaría ese valor a 4,575 m³/s, con lo cual el río Santa Lucía tendría que suplementar caudales de forma continua de hasta 2,425 m³/s, situación que no se cumpliría en el 6,52% de los días (702 días de los 10.772 días de la serie)
- Al igual que en el caso anterior, la incorporación de aprovechamientos regulados, ahora con necesidades de regulación menores, constituirían el complemento para hacer sostenible el abastecimiento

III.8.2 Sistema de abastecimiento en discontinuo del río Santa Lucía Chico a través del embalse de Paso Severino

Este es el sistema de operación actualmente utilizado.

- Para $7\text{m}^3/\text{s}$ el embalse de Paso Severino desciende hasta el umbral de la utilización de las reservas, sin dejar cobertura alguna de seguridad
- Se identifican 200 días en los que el embalse permanece por debajo del 50% de sus reservas
- En caso de que no hubiera crecimiento de la demanda, este sistema de funcionamiento no necesitaría la incorporación de nuevos recursos. Sería necesario implementar un Plan de Contingencia para contrarrestar los efectos de una sequía
- La utilización del bombeo del remanso de las aguas del Río Santa Lucía aguas debajo de la Usina de Aguas Corrientes, mitigan la falta de regulación y son prácticas efectivas pero sin la suficiente garantía por la calidad de estas aguas expuestas a salinidad excesiva y a cargas de nutrientes. En caso de que el arroyo Canelón se pudiera desviar por motivos de calidad, implicaría la inutilización de esta instalación
- El sistema es muy sensible a las alteraciones de la calidad de las aguas, que se contrarresta con un potente sistema de adsorción por carbón activo en polvo pero con el inconveniente de los tiempos de respuesta por las inercias que todo proceso físico-químico-bacteriológico conlleva.
- Para la incorporación de nuevos recursos hídricos y para la ampliación de las reservas de agua embalsada, podría pensarse en sistemas mixtos de regulación total o parcial de las aportaciones interceptadas, funcionando de forma coordinada con el actual sistema de abastecimiento.

III.9 Concepto de déficit de recursos en un sistema de abastecimiento urbano

Es muy difícil plantear la existencia de déficits de recursos para atender las necesidades de agua de Montevideo y de su área Metropolitana, cifradas para el año 2045 en aproximadamente 276 hm³/año, cuando la aportación mínima en la cuenca interceptada en Aguas Corrientes ha sido de 1.217 hm³ en el año 2008 con un módulo pluviométrico de 596 mm medido en el observatorio de Libertad.

Si estas necesidades de 276 hm³/año se comparan con los valores medios históricos de aportaciones en la cuenca interceptada en Aguas Corrientes que ascienden a la cantidad de 3.676 hm³/año, correspondientes al módulo anual de lluvias en Libertad de 1.076 mm/año, el superávit hídrico es totalmente incuestionable. Conclusión inmediata: no existe un déficit de recursos hídricos. Hay agua suficiente en la cuenca para atender las necesidades futuras del Sistema Metropolitano, la cuestión es organizar la extracción de estos recursos garantizando su disponibilidad.

Por eso, la problemática que presentan sistemas de abastecimiento como el que nos ocupa, con importantísimos superávits de caudales naturales respecto a la demanda, se centra en que los episodios que originan los desajustes se corresponden con sub-series cronológicas (rachas de días seguidos con caudales menores que una cantidad preestablecida) enmascaradas dentro de un año concreto. De esta forma un año húmedo (por ser su aportación superior a la media) puede contener una de estas rachas que comprometen la continuidad del abastecimiento o viceversa. Además estas secuencias pueden manifestarse cualquier mes del año, si bien por las condiciones de sequedad del suelo, luminosidad, aire caliente, etc. Se hacen muy patentes entre diciembre y febrero.

En términos generales se puede afirmar que un sistema de abastecimiento es tanto más vulnerable cuanto mayor sea su dependencia de una variable hidrológica derivada de la lluvia (caudal fluyente) y que no puede ser controlada por el hombre.

Podría pensarse que prediciendo con tiempo el hidrograma diario para los próximos 200 días, el sistema de abastecimiento podría ser seguro, pero esta cuestión no es posible científicamente. La estadística en casos tan concretos tampoco es una herramienta que ayude a predecir. Dispondríamos sin embargo del conocimiento de nuestro pasado pudiéndose aplicar procedimientos deterministas, pero debidamente compensados teniendo en cuenta el convencimiento de su reproducción.

La variabilidad de la cuenca del río Santa Lucía, su escasa capacidad de retención y su rápido gradiente de agotamiento, la sitúa en un punto crítico donde los caudales de

52

estiaje no pueden garantizar el 100% de las necesidades, y si lo hacía hace años, es porque la demanda no había rebasado el caudal crítico de estiaje o caudal de fondo estival.

Pero si bien el hombre no puede controlar las lluvias, dispone de estrategias para asegurarse dentro de unos límites (nivel de garantía) el acceso al agua:

- Puede realizar obras que de alguna forma altere artificialmente el régimen de caudales de un curso de agua
- Puede contener el uso del agua
- Puede realizar planes que ahorren agua cuando se rebasen ciertos umbrales

La primera de las actuaciones es lo que llamamos obras de regulación puesto que su función es la de regular o uniformizar las salidas de agua mediante un sistema presa-embalse.

La segunda de las actuaciones está relacionada con el uso responsable del agua como el mejor procedimiento y el más económico para el conjunto de la sociedad de mejorar el nivel de garantía. Un principio que define muy bien la idea es “hacer mucho con poco”. Los planes de reducción de las fugas de agua en las redes de distribución urbanas, siempre deben constituir una alternativa de incrementar recursos a costos incrementales muy razonables que mejoran igualmente la cobertura.

La tercera de las actuaciones guarda relación con el establecimiento de reglamentos, planes y manuales relacionados con la protección del recurso, con los procedimientos orientados al ahorro del agua y su distribución preferente en situaciones de precariedad y con la mitigación de los efectos adversos de sequías e inundaciones.

Para tener una visión de la magnitud de la regulación de un cierto recurso, ponemos como referencia a la cuenca del río Ebro de 85.362 km², con una aportación media anual de 18.217 hm³/año y con un módulo pluviométrico media anual (ponderado con isoyetas) de 620 mm. Este río está compuesto por varias subcuentas (sobre todo de procedencia Pirenaica) de gran similitud a la cuenca del río Santa Lucía por su tamaño y módulo pluviométrico como por ejemplo el río Arga (2.500 km²), el Aragón (8.500 km²), Jalón (9.300 km²) o Gállego (5.000 km²).



Escala

0 10 20 30 40 50

Embalse	Capacidad hm ³	Año construcción	Ha inundadas	Afluente	Provincia
Mequinenza	1.530,000	1965	7700	Ebro	Zaragoza
Canelles	678,000	1960	1569	Noguera Ribagorzana	Huesca / Lérida
Ebro	540,000	1945	6253	Ebro	Cantabria
Yesa	447,000	1959	2089	Aragón	Navarra / Zaragoza
Mediano	437,000	1960	1722	Cinca	Huesca
Rialb	403,000	2000	1505	Segre	Lérida
El Grado I	400,000	1969	1270	Cinca	Huesca
Santa Ana	236,000	1964	767,85	Noguera Ribagorzana	Huesca / Lérida
Ribarroja	210,000	1969	2028,9	Ebro	Zaragoza / Tarragona
Tremp o Talarn	205,000	1916	926,6	Noguera Pallaresa	
La Sotenera	189,000	1963	1840	Sotón	Huesca
Camarasa	164,000	1920	624	Noguera Pallaresa	Lérida
Escales	153,000	1955	400,32	Noguera Ribagorzana	Huesca / Lérida
Ullíbarri-Gamboa	146,000	1957	1490	Zadorra	Álava
Oliana	100,000	1959	443	Segre	Lérida
Joaquín Costa (Barasona)	93,000	1932	692	Ésera	Huesca
La Tranquera	85,000	1959	530	Piedra	Zaragoza
Caspe	81,000	1989	638	Guadalope	Zaragoza
Urrúnaga	72,000	1957	785	Santa Engracia	Álava
Mansilla	68,000	1960	246	Najerilla	La Rioja
Alloz	65,000	1930	371	Salado	Navarra
Búbal	64,000	1971	234	Gállego	Huesca
Calanda	54,000	1982	312	Guadalope	Teruel
Santolea	52,000	1932	385	Guadalope	Teruel
Pajares	35,000	1995	161,74	Piqueras	La Rioja
Escuriza	33,000	1890	32,5	Escuriza	Teruel
González-Lacasa	33,000	1962	152,4	Iregua	La Rioja
Terradets	33,000	1935	330	Noguera Pallaresa	
El Val	25,000	1998	112,3	Val	Zaragoza
Lanuzza	25,000	1978	97	Gállego	Huesca
Baserca	22,000	1983	92,5	Noguera Ribagorzana	Huesca / Lérida
Cueva Foradada	22,000	1926	229	Martín	Teruel
Eugui	22,000	1972	123	Arga	Navarra

Tabla III.19. Cuadro de principales embalses del Río Ebro. Volumen mayor a 20 hm³

Si obtenemos el ratio que relaciona la capacidad total de los embalses existentes de 7.189 hm^3 y el caudal medio total de la cuenca, $18.217 \text{ hm}^3/\text{año}$, resulta un ratio del 39,46%. Es decir de cada 100 hm^3 que discurren por el río, casi 40 hm^3 son manejados por el hombre.

Si obtenemos el mismo ratio para la cuenca del río Santa Lucía en Aguas Corrientes resultaría que dividiendo la capacidad total de embalses $70+30 \text{ hm}^3$, considerando el embalse de Canelón y el caudal medio total de la cuenca de $3.676 \text{ hm}^3/\text{año}$, resulta un ratio del 2,7%, que indica una menor regulación de las aguas.

En resumen, atendiendo exclusivamente al abastecimiento del Sistema Metropolitano, el incremento de regulación que sitúe a este estratégico aglomerado urbano con niveles de garantía y redundancias homologables será justificado cuando se expongan las distintas alternativas y sus potencialidades. Se adelanta que podría ser suficiente un incremento entre 130 a 150 hm^3 sobre la regulación existente ($70+30$ del posible recrecido), dependiendo de la magnitud de los caudales de dilución que necesariamente se deberán prever para salvaguardar la calidad del agua de los ríos.

Estos resultados se establecen considerando el régimen actual de los ríos y de los actuales usos para fines agrícolas. Si otros usos fueran autorizados sin ninguna contrapartida que equilibre el balance, cualquier extracción podría suponer una merma del caudal base del río Santa Lucía en verano y en consecuencia incrementar el uso de las reservas con el consiguiente riesgo de desabastecimiento.

III.10 Concepto de nivel de garantía y fiabilidad de un sistema de abastecimiento urbano

Una vez identificado el déficit cuantitativo como una grave insuficiencia de regulación del sistema de abastecimiento al Sistema Metropolitano, se hace preciso estudiar y proponer una planificación de actuaciones y obras de regulación que permita, con un coeficiente de seguridad apropiado, suministrar agua a la población dentro de los límites de la más absoluta normalidad.

Para ello hay que tener en cuenta en el diseño hidrológico dos aspectos clave de la planificación hidráulica:

- El nivel de garantía que ofrece el sistema de abastecimiento

- La fiabilidad con la que el sistema de abastecimiento cumple con los objetivos encomendados.

El **nivel de garantía** encierra un concepto probabilístico relacionado con el recurso hídrico y con las infraestructuras construidas para su aprovechamiento y la **fiabilidad** se debe corresponder con la propiedad intrínseca que dispone el propio sistema para seguir funcionando.

Se puede concebir un sistema de un alto nivel de garantía pero que no lleve el agua hasta sus puntos de consumo y también pudiera existir un sistema que transportara agua a los usuarios pero con restricciones. Se trata por tanto de fijar un esquema de abastecimiento garante y fiable.

Se puede definir la garantía de un modo general como la fuerza de un compromiso realizado entre dos partes (usuario y abastecedor), o también, como lo que asegura y protege contra algún riesgo o necesidad.

Para los servicios de agua esto significa que el compromiso de servicio y su nivel de calidad, queda supeditado al número de fallos que históricamente hubieran aparecido por una insuficiencia en la disponibilidad de los recursos hídricos, caso de repetirse la serie hidrológica de diseño.

Dependerá de la demanda (variable controlada por el hombre), de la climatología, representada por la serie hidrológica (variable estocástica controlada por el ciclo natural del agua) y finalmente de la capacidad y posibilidades de almacenar agua (variable económica y medio ambiental) de gran repercusión en el territorio, tal y como se ha venido desarrollando.

Un sistema de abastecimiento debe concebirse para suministrar un caudal que se denomina garantizado sea cual sea la modalidad y diversidad del origen natural del agua. Se desprenden de estos conceptos varias cuestiones:

- El caudal garantizado es un concepto variable, puesto que depende de la evolución de la serie histórica y debe ser revisado año tras año y realizar los ajustes correspondientes
- Es necesario tomar valores de referencia para cuantificar la reserva de agua que se quiera disponer para poder fijar numéricamente el nivel de garantía
- Es preciso tipificar cuando falla el sistema, si cuando no puede suministrar agua a la población porque se ha dejado vaciar el embalse o cuando desciende a un umbral a partir del cual necesita promover actuaciones conducentes al ahorro

- El cambio climático no es un asunto desdeñable y debe ser tenido en cuenta a la hora de ajustar los límites de la seguridad, si bien no hay que perder de vista que nada se puede garantizar al 100% en un sistema probabilístico puro
- La planificación debe prever lo previsible y establecer estrategias de prevención y gestión de los crecientes riesgos de sequía que se generan desde las dinámicas de cambio climático en curso
- No hay dos sequías iguales, puesto que la forma de llover y el manejo de los recursos y su ubicación es también distinta. Por ello tampoco serán iguales los planes de contingencia que deben hacerse muy a la medida
- Es más vulnerable a una sequía un sistema bien gestionado por cuanto que la capacidad de ahorro estará más limitada

Respecto a la fiabilidad introduciremos las siguientes reflexiones:

- Un sistema de abastecimiento es una cadena de subsistemas que empiezan en la captación del agua bruta (desde embalse, desde estación de bombeo o por gravedad), prosigue en la Usina de tratamiento (líneas de tratamiento en paralelo), el agua ya tratada ingresa en el sistema de distribución en red primaria (por bombeo o por gravedad), llega los depósitos de regulación (en cabecera, o en cabecera-cola), se transporta por las tuberías urbanas, se introduce por las conexiones, se recepciona en los depósitos domésticos y acaba saliendo por la canilla o electrodoméstico
- Se trata de un proceso productivo en serie, pero donde determinados subsistemas funcionan en paralelo y por lo tanto el fallo de una parte de la indicada cadena no implica que la totalidad del sistema falle
- No es así en el caso de grandes arterias no duplicadas cuyo funcionamiento es en serie y cuyo fallo implicaría el fallo total del sistema
- El concepto de fiabilidad debe estar unido al de criticidad
- Un subsistema deberá ser tanto más fiable contra mayor sea su criticidad.
- Un subsistema o componente del mismo será tanto más crítico cuanto mayor sea la incidencia de su fallo. Una arteria de aducción debería tener la máxima criticidad puesto que su fallo produce el colapso del sistema de abastecimiento

- Los elementos críticos de sistemas productivos, bombas, cloradores, evaporadores, dosificadores de carbón en polvo, etc. Son elementos que deben funcionar en paralelo con fiabilidades superiores al 99%
- Se podría realizar un estudio de detalle de cada uno de los subsistemas si se conociera el número de veces que cada una de estas unidades ha dejado de cumplir su función. A cada uno de ellos habría que asignarle un grado de criticidad (rojo, naranja, amarillo, verde) Y finalmente asociarle un riesgo como medida
- En definitiva, para determinar la conducta de un sistema de abastecimiento debería conocerse el historial de los fallos (nº de veces al año que ha estado sin poder cumplir su función) de cada uno de los subsistemas a nivel macro. Se debería asignar una ponderación reflejo de su criticidad

III.11 Riesgo de fallo estructural por causas externas en las fuentes de un sistema de abastecimiento

El nivel de garantía, tal y como se ha definido mide en definitiva la probabilidad de no tener restricciones y la fiabilidad del sistema de abastecimiento valora la probabilidad de que todos sus elementos o subsistemas cumplan con su función.

Pero ninguno de ellos establece un vínculo con el riesgo de que se produzca una situación de desabastecimiento por fallos estructurales causados por agentes externos.

Centrándonos en el subsistema más crítico del proceso (subsistema de captación-bombeo-aducción) se puede afirmar que un sistema de abastecimiento puede quedar temporalmente fuera de servicio por tres motivos:

- Por actuaciones sobre cualquier parte del sistema para repararlo, modificarlo o reconstruirlo
- Por los efectos de una acción natural adversa que deje al mismo sin posibilidades de funcionamiento
- Por una disfunción grave en la calidad del agua bruta, por causas naturales (se puede predecir) o por causas fortuitas-delicativas

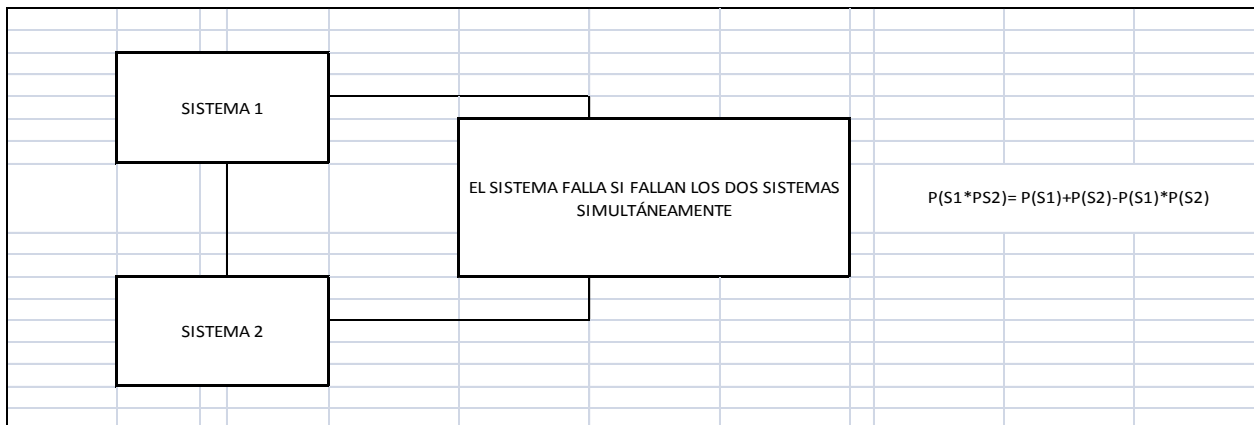


Figura III.17. Esquema de probabilidad de fallo con dos sistemas

El primer caso es siempre planificable y se podría programar la fecha más idónea para realizar los trabajos que motivan la parada. Tanto la duración de las obras (o revisiones) como las medidas correctoras estarían fielmente estudiadas y se deberían disponer de elementos de puesta en servicio provisional si el progreso de los trabajos se demorara. La época para hacer este tipo de trabajos se correspondería con los periodos de aguas altas en los ríos y detraer los caudales menores posibles del embalse que permaneciera en servicio. Bien es cierto que contra más reserva se dispusiera con mayor tranquilidad se encararía la parada.

El segundo caso se manifiesta de forma súbita y no es planificable, aunque en ciertos casos pueden ser previstos con una cierta antelación. Son nuevamente los conceptos estadísticos los que tipifican estas cuestiones. Debemos considerar por ello que un sistema pueda quedar fuera de servicio por causas naturales adversas o por motivos cuasi catastróficos cualquier día del año y de forma inmediata el sistema que permaneciera operativo es el que tendría que atender la demanda de ambos sistemas durante un periodo de tiempo lo suficientemente dilatado como para dar tiempo a realizar obras para restablecer el servicio (de forma total o al menos parcial). El escenario más desfavorable se daría en el caso de que el “colapso” se manifestara en un estiaje de una cierta severidad con los ríos afectados por este periodo seco.

El tercer caso es en parte planificable si se trata de eventos relacionados con el deterioro progresivo de la calidad de un agua en su espacio natural por la acción de nutrientes y podrían adoptarse medidas. Pero en los episodios de contaminación súbita por causas fortuitas (derrames accidentales de cargas contaminantes, etc.) o delictivas (vertidos furtivos de cargas contaminantes). Al igual que en el caso anterior debemos tomar medidas para no paralizar el sistema de abastecimiento.

Si se dispusiese de dos sistemas capaces cada uno de ellos de abastecer a la totalidad de la población (de forma temporal) por ejemplo tres meses, podría ser cualquiera de los sistemas los que atendiera la demanda ante un colapso del otro.

La probabilidad de que esto suceda en uno de los sistemas se recoge en la tabla siguiente, donde se calcula la probabilidad de que ocurran eventos de $T=1, 2, \dots, 500$ años de periodo de retorno, los próximos $N= 1, 2, 3, \dots, 500$ años.

N=	Periodo de Retorno						
Años	2	5	10	20	50	100	500
1	39,347%	18,127%	9,516%	4,877%	1,980%	0,995%	0,200%
5	91,792%	63,212%	39,347%	22,120%	9,516%	4,877%	0,995%
10	99,326%	86,466%	63,212%	39,347%	18,127%	9,516%	1,980%
20	99,995%	98,168%	86,466%	63,212%	32,968%	18,127%	3,921%
30	100,000%	99,752%	95,021%	77,687%	45,119%	25,918%	5,824%
40	100,000%	99,966%	98,168%	86,466%	55,067%	32,968%	7,688%
50	100,000%	99,995%	99,326%	91,792%	63,212%	39,347%	9,516%
100	100,000%	100,000%	99,995%	99,326%	86,466%	63,212%	18,127%
200	100,000%	100,000%	100,000%	99,995%	98,168%	86,466%	32,968%
500	100,000%	100,000%	100,000%	100,000%	99,995%	99,326%	63,212%

Tabla III.20. Probabilidad de ocurrencia de un evento en forma simultánea en sistemas duplicados

Esta segunda fuente actuaría de forma complementaria, ya que su comportamiento hidrológico así lo determinaría. Por su proximidad (cuenca del río Santa Lucía) si un sistema atraviesa por una sequía el otro también. Sería necesario establecer un protocolo de operación que garantizara en todo momento disponer de reservas de forma simultánea en ambos sistemas para atender el 100% de la demanda desde cualquiera de ellos, según los principios de funcionamiento en paralelo.

III.12 Establecimiento del nivel de garantía en el sistema de abastecimiento al Sistema Metropolitano

Los niveles de garantía miden la probabilidad de que no se produzca fallo alguno y por lo tanto lo primero que es necesario asumir es el umbral del mismo que tiene que estar vinculado con un plan de contingencia.

A modo de consulta, en el Anexo N°3, se presentan las normativas más relevantes en la Comunidad Europea y en España, así como la Guía para la elaboración de planes de emergencia por sequía en sistemas de abastecimiento urbano.

El concepto de garantía está condicionado por la reserva que se imponga al sistema o umbral de fallo. Para determinarla, la metodología que se aplica es la simulación y se cuenta el número de veces que el sistema falla en caso de repetirse la historia climatológica.

Se entiende que a igualdad de consumos, cuanto más alto sea el umbral por debajo del cual se contabiliza el fallo, más veces se cortará a la misma y menor será la garantía a no ser que introduzcamos mayores reservas. A mayores consumos y si el consumo está ligado a la reserva o umbral de fallo, mayores serán los cortes y menor será la garantía.

No existe una norma que establezca cual debe ser la garantía de un abastecimiento, pero sí que en los grandes sistemas urbanos, se admite un fallo cada 50 años, lo cual significa una garantía del 98%.

Como fallo se entiende descender al umbral de emergencia último donde se aplicarían medidas muy duras (multas a excesos de consumo, etc.). El referido umbral en España varía entre el 10% y el 20% dependiendo de las posibilidades de ahorro y concretamente en Bilbao (área Metropolitana de 1.200.000 habitantes equivalentes) queda definido este umbral por la reserva necesaria para 5 meses

III.13 Aplicación al sistema Paso Severino-Aguas Corrientes

Se ha realizado una aplicación que determina la garantía del Sistema Paso Severino-Aguas Corrientes, considerando como punto de arranque una reserva de dos meses (60 días) sin restricciones y sin aportación alguna ni del bombeo de Santa Lucía Grande ni desde Paso Severino. Este criterio es absolutamente provisional y deberá ser estudiado otro aplicable a la alternativa que se seleccione, enmarcada en el Plan de Contingencia para situaciones de sequía que se recomienda establecer. No se considera el bombeo de las aguas del remanso del río Santa Lucía en AACC, del lado de la seguridad.

III.13.1 Aportaciones

Se manejan las aportaciones totales de la cuenca en AACC (9.200 km²), las de Paso Severino (2.500 km²) y las del Río Santa Lucía Grande + Arroyo Canelón (9200-2500=6.200 km²), deducidas por proporcionalidad de áreas a partir de las series diarias de aportaciones facilitadas por la estaciones de DNH de Paso Pache (Estación 59.1), Florida (Estación 53.1) y Paso de los Troncos (Estación 119).

Estas aportaciones fueron objeto de una reconversión informática para ponerlas cronológicamente todas en fecha en formatos Excel.

III.13.2 Detracciones

Las detracciones son los 7 m³/s, 8 m³/s, 9 m³/s y 10 m³/s que se estudian en cada caso y que se expresan en m³/día, obviamente.

III.13.3 Definición del umbral de fallo

A falta de otros criterios (sería necesario que a futuro OSE los definiera dentro de un plan de contingencia), se ha tomado como criterio de fallo las veces que se desciende por debajo de una reserva de 50 días. Estos fallos se contabilizan por años y por días. Un año falla cuando existe un solo día que las reservas de Paso Severino descienden de la reserva de 50 días. Es decir una vez ocurrido el hecho, da lo mismo cuantos días falla, simplemente decimos que el año ha fallado.

III.13.4 Metodología con reservas actuales

Una vez determinadas las aportaciones del río Santa Lucía Grande y el Arroyo Canelón (6.200 km²) y las de Paso Severino (2500 km²) reguladas por un embalse de 70 hm³, el modelo determina si el agua que fluye por el Santa Lucía (que incluye el Aº Canelón) es capaz de atender la demanda de AACC de 7, 8, 9 o 10 m³/s.

Si es capaz, no detrae nada del embalse. Si es capaz parcialmente, detrae del embalse la diferencia y si el caudal es muy pequeño o nulo, se detrae todo el consumo del embalse.

En el embalse se realiza el balance entre entradas-salidas= +/- almacenamiento y de esta forma se determina el volumen existente cada día de la simulación en Paso Severino.

III.13.5 Tablas de resultados

El modelo de simulación calcula los días que vierte el embalse y los días que el embalse permanece por debajo del umbral definido anteriormente y por lo tanto el número de años en los que se contabilizan estos sucesos.

En las tablas de resultados figuran todos estos datos para cada detracción.

III.13.6 Niveles de garantía

Se determinan estadísticamente como la probabilidad determinista (no estocástica) de no tener un fallo, o dicho de otra forma, se calcula la expresión $1 - Pr(\text{fallo})$ y la probabilidad de fallo es el número de fallos contabilizados (años fallados) dividido entre el número total de años estudiados (serie de 1983 hasta 2012).

Se anexa una planilla tipo del proceso de cálculo, donde:

- (1) Fecha de la aportación de Paso Severino
- (2) Aportaciones de Paso Severino
- (3) Salidas de Paso Severino
- (4) Balance de entradas y salidas del embalse (2)-(3)
- (5) Evolución del embalse
- (6) Vertidos de Paso Severino que se incorporan al río Santa Lucía
- (7) Aportaciones Santa Lucía Grande

(8) Aportaciones netas = (7)+(6)

(9) Necesidades de agua totales

(10) Captado del río Santa Lucía

NO SE TIENE EN CUENTA LA EVAPORACIÓN NI TAMPOCO EL EFECTO DEL BOMBEO DE LAS AGUAS DEL REMANSO DEL RÍO SANTA LUCÍA AGUAS ABAJO DE AA.CC

(1) Fecha	(2) Aportaciones paso Severino (hm ³ /día)	(3) Salidas del embalse (hm ³ /día)	(4) Entradas - Salidas embalse Paso Severino (hm ³ /día)	(5) Embalse Paso Severino volumen (hm ³)	(6) Vertidos P.Severino=Aportaciones Aguas Corrientes (hm ³ /día)	(7) Aportaciones Santa Lucía Grande (hm ³ /día)	(8) Aportaciones en Aguas Corrientes netas (hm ³ /día)	(9) Detracción media diaria (hm ³ /día)	(10) Del Santa Lucía (hm ³ /día)
01/01/1983	0,028		0,028	70,000		0,073	0,073	0,778	0,073
02/01/1983	0,028	0,705	-0,677	69,323	0,000	0,073	0,073	0,778	0,073
03/01/1983	0,028	0,705	-0,677	68,646	0,000	0,073	0,073	0,778	0,073
04/01/1983	0,028	0,705	-0,677	67,969	0,000	0,073	0,073	0,778	0,073
05/01/1983	0,028	0,705	-0,677	67,292	0,000	0,073	0,073	0,778	0,073
06/01/1983	0,028	0,705	-0,677	66,616	0,000	0,073	0,073	0,778	0,073
07/01/1983	0,028	0,705	-0,677	65,939	0,000	0,073	0,073	0,778	0,073
08/01/1983	0,028	0,705	-0,677	65,262	0,000	0,073	0,073	0,778	0,073
09/01/1983	0,028	0,705	-0,677	64,585	0,000	0,073	0,073	0,778	0,073
10/01/1983	0,028	0,705	-0,677	63,908	0,000	0,073	0,073	0,778	0,073
11/01/1983	0,028	0,705	-0,677	63,231	0,000	0,073	0,073	0,778	0,073
12/01/1983	0,028	0,705	-0,677	62,554	0,000	0,073	0,073	0,778	0,073
13/01/1983	0,028	0,705	-0,677	61,877	0,000	0,073	0,073	0,778	0,073
14/01/1983	0,029	0,705	-0,676	61,201	0,000	0,075	0,075	0,778	0,075
15/01/1983	0,037	0,702	-0,666	60,536	0,000	0,097	0,097	0,778	0,097
16/01/1983	0,029	0,681	-0,652	59,884	0,000	0,076	0,076	0,778	0,076
17/01/1983	0,028	0,701	-0,674	59,211	0,000	0,073	0,073	0,778	0,073
18/01/1983	0,028	0,705	-0,677	58,534	0,000	0,073	0,073	0,778	0,073
19/01/1983	0,028	0,705	-0,677	57,857	0,000	0,073	0,073	0,778	0,073
20/01/1983	0,028	0,705	-0,677	57,180	0,000	0,073	0,073	0,778	0,073

Tabla III.21. Planilla de cálculo tipo

Los resultados obtenidos en las simulaciones se resumen en la Tabla III.13

Detracción (m ³ /s)	% Garantía	Volumen Embalse (hm ³)	Observaciones
7	93,103	70	
8	68,996	70	Se vacía Paso Severino
9	55,172	70	Se vacía Paso Severino de forma sistemática
10	37,931	70	El sistema se colapsa

Tabla III.22. Garantía para detracciones de 7, 8, 9 y 10 m³/s, sin considerar el bombeo del remanso aguas abajo de AACC

El detalle de los valores se incluye a continuación. Para cada año se identifica si se ha registrado un fallo y además se determina el número total de días que el sistema falla. El nivel de garantía se calcula a partir de la probabilidad de fallo.

7 m³/s:

Volumen útil P. Severino (hm ³)		70,000
DEMANDA MEDIA ANUAL EN M ³ /S		7,000
OBSERVACIONES	OBJETIVO NO DESCENDER POR DEBAJO DE UNA	
Años	Nº años que no	Nº días del año que no cumple el
1983	0	0
1984	0	0
1985	0	0
1986	0	0
1987	0	0
1988	0	0
1989	0	0
1990	0	0
1991	0	0
1992	0	0
1993	0	0
1994	0	0
1995	0	0
1996	0	0
1997	0	0
1998	0	0
1999	0	0
2000	0	0
2001	0	0
2002	0	0
2003	0	0
2004	0	0
2005	0	0
2006	0	0
2007	0	0
2008	0	0
2009	0	0
2010	1	4
2011	1	72
Total	2	76
Nivel de garantía ANUAL		93,103%

Tabla III.23. Nivel de garantía para 7 m³/s de detracción, sin considerar bombeo aguas abajo

8 m³/s:

Volumen útil P. Severino (hm ³)		70,000
DEMANDA MEDIA ANUAL EN M ³ /S		8,000
OBSERVACIONES	OBJETIVO NO DESCENDER POR DEBAJO DE UNA	
Años	Nº años que no	Nº días del año que no cumple el
1983	1	1
1984	0	0
1985	0	0
1986	0	0
1987	0	0
1988	0	0
1989	1	46
1990	0	0
1991	1	8
1992	0	0
1993	0	0
1994	0	0
1995	0	0
1996	1	41
1997	1	100
1998	0	0
1999	0	0
2000	1	52
2001	0	0
2002	0	0
2003	0	0
2004	0	0
2005	0	0
2006	0	0
2007	0	0
2008	1	98
2009	0	0
2010	1	31
2011	1	143
Total	9	520
Nivel de garantía ANUAL	68,966%	

Tabla III.24. Nivel de garantía para 8 m³/s de detracción, sin considerar bombeo aguas abajo

9 m³/s:

Volumen útil P. Severino (hm ³)		70,000
DEMANDA MEDIA ANUAL EN M ³ /S		9,000
OBSERVACIONES	OBJETIVO NO DESCENDER POR DEBAJO DE UNA	
Años	Nº años que no	Nº días del año que no cumple el
1983	1	50
1984	0	0
1985	0	0
1986	0	0
1987	1	133
1988	0	0
1989	1	144
1990	0	0
1991	1	45
1992	0	0
1993	0	0
1994	0	0
1995	0	0
1996	1	73
1997	1	138
1998	0	0
1999	0	0
2000	1	76
2001	0	0
2002	0	0
2003	0	0
2004	1	14
2005	0	0
2006	0	0
2007	1	22
2008	1	219
2009	1	51
2010	1	49
2011	1	137
Total	13	1151
Nivel de garantía ANUAL	55,172%	

Tabla III.25. Nivel de garantía para 9 m³/s de detracción, sin considerar bombeo aguas abajo

10 m³/s:

Volumen útil P. Severino (hm ³)		70,000
DEMANDA MEDIA ANUAL EN M ³ /S		10,000
OBSERVACIONES	OBJETIVO NO DESCENDER POR DEBAJO DE UNA	
Años	Nº años que no	Nº días del año que no cumple el
1983	1	102
1984	0	0
1985	1	7
1986	0	0
1987	1	156
1988	0	0
1989	1	355
1990	1	45
1991	1	74
1992	1	53
1993	0	0
1994	0	0
1995	0	0
1996	1	92
1997	1	173
1998	0	0
1999	0	0
2000	1	99
2001	0	0
2002	0	0
2003	0	0
2004	1	41
2005	1	24
2006	1	45
2007	1	36
2008	1	361
2009	1	106
2010	1	78
2011	1	127
Total	18	1974
Nivel de garantía ANUAL	37,931%	

Tabla III.26. Nivel de garantía para 10 m³/s de detracción, sin considerar bombeo aguas abajo

En caso de que el bombeo de las aguas del remanso del río Santa Lucía puedan ser activado en todo momento con un mínimo de 1 m³/s, los resultados mejoran notablemente, según estos nuevos valores:

Detracción (m ³ /s)	% Garantía	Volumen Embalse (hm ³)	Observaciones
7	100,00	70	
8	96,5526	70	Valor límite de la garantía
9	75,862	70	Se vacía Paso Severino
10	55,172	70	El sistema se colapsa

Tabla III.27. Garantía para detracciones de 7, 8, 9 y 10 m³/s, considerando el bombeo del remanso aguas abajo de AACC

7 m³/s:

Volumen útil P. Severino (hm ³)		70,000
DEMANDA MEDIA ANUAL EN M ³ /S		7,000
OBSERVACIONES	OBJETIVO NO DESCENDER POR DEBAJO DE UNA	
Años	Nº años que no	Nº días del año que no cumple el
1983	0	0
1984	0	0
1985	0	0
1986	0	0
1987	0	0
1988	0	0
1989	0	0
1990	0	0
1991	0	0
1992	0	0
1993	0	0
1994	0	0
1995	0	0
1996	0	0
1997	0	0
1998	0	0
1999	0	0
2000	0	0
2001	0	0
2002	0	0
2003	0	0
2004	0	0
2005	0	0
2006	0	0
2007	0	0
2008	0	0
2009	0	0
2010	0	0
2011	0	0
Total	0	0
Nivel de garantía ANUAL	100,000%	

Tabla III.28. Nivel de garantía para 7 m³/s de detracción, considerando el bombeo aguas abajo

8 m³/s:

Volumen útil P. Severino (hm ³)		70,000
DEMANDA MEDIA ANUAL EN M ³ /S		8,000
OBSERVACIONES	OBJETIVO NO DESCENDER POR DEBAJO DE UNA	
Años	Nº años que no	Nº días del año que no cumple el
1983	0	0
1984	0	0
1985	0	0
1986	0	0
1987	0	0
1988	0	0
1989	0	0
1990	0	0
1991	0	0
1992	0	0
1993	0	0
1994	0	0
1995	0	0
1996	0	0
1997	0	0
1998	0	0
1999	0	0
2000	0	0
2001	0	0
2002	0	0
2003	0	0
2004	0	0
2005	0	0
2006	0	0
2007	0	0
2008	0	0
2009	0	0
2010	0	0
2011	1	63
Total	1	63
Nivel de garantía ANUAL	96,552%	

Tabla III.29. Nivel de garantía para 8m³/s de detracción, considerando el bombeo aguas abajo

9 m³/s:

Volumen útil P. Severino (hm ³)		70,000
DEMANDA MEDIA ANUAL EN M ³ /S		9,000
OBSERVACIONES	OBJETIVO NO DESCENDER POR DEBAJO DE UNA	
Años	Nº años que no	Nº días del año que no cumple el
1983	1	5
1984	0	0
1985	0	0
1986	0	0
1987	0	0
1988	0	0
1989	0	0
1990	0	0
1991	0	0
1992	0	0
1993	0	0
1994	0	0
1995	0	0
1996	1	26
1997	1	78
1998	0	0
1999	0	0
2000	1	35
2001	0	0
2002	0	0
2003	0	0
2004	0	0
2005	0	0
2006	0	0
2007	0	0
2008	1	32
2009	0	0
2010	1	27
2011	1	119
Total	7	322
Nivel de garantía ANUAL	75,862%	

Tabla III.30. Nivel de garantía para 9m³/s de detección, considerando el bombeo aguas abajo

10 m³/s:

Volumen útil P. Severino (hm ³)		70,000
DEMANDA MEDIA ANUAL EN M ³ /S		10,000
OBSERVACIONES	OBJETIVO NO DESCENDER POR DEBAJO DE UNA	
Años	Nº años que no	Nº días del año que no cumple el
1983	1	46
1984	0	0
1985	0	0
1986	0	0
1987	1	46
1988	0	0
1989	1	97
1990	0	0
1991	1	42
1992	0	0
1993	0	0
1994	0	0
1995	0	0
1996	1	75
1997	1	135
1998	0	0
1999	0	0
2000	1	71
2001	0	0
2002	0	0
2003	0	0
2004	1	6
2005	0	0
2006	0	0
2007	1	25
2008	1	184
2009	1	31
2010	1	49
2011	1	164
Total	13	971
Nivel de garantía ANUAL	55,172%	

Tabla III.31. Nivel de garantía para 10m³/s de detracción, considerando el bombeo aguas abajo

III.13.7 Conclusiones a los niveles de garantía obtenidos

1. En caso de aplicarse estos estándares, y dado que el consumo actual es aproximadamente 7 m³/s, se puede afirmar que la garantía se sitúa en un 96,77%. Esta cifra es homologable, pero en el límite, si se utiliza el bombeo de las aguas remansadas del río Santa Lucía (agua afectada en ocasiones por la presencia de cloruros, producto de las variaciones de la salinidad)
2. Estando la demanda futura al año 2045, comprendida entre 8 y 9 m³/s, la garantía se reduce muy significativamente a valores inasumibles
3. Para 10 m³/s en todos los casos el sistema es superado y no tendría validez
4. Para la definición de las reservas y de las condiciones de operación y manejo sería imprescindible definir una reserva y sobre esta construir los nuevos embalses
5. Se recomienda ser muy conservador para definir nuevos esquemas de aprovechamiento y pensar que siempre vendrá una serie de aportaciones peor que la peor conocida y esto obligará a un nuevo cálculo de la garantía y a un redimensionamiento de las reservas o a una reducción de la demanda mediante la aplicación de técnicas de consumo responsable y eliminación de fugas de agua
6. Los nuevos esquemas para el abastecimiento de agua al Sistema Metropolitano se deben dimensionar para garantías del 98%

III.14 Requisitos exigibles a los sistemas de abastecimiento

Sentados los principios de los niveles de garantía que delimitan la cantidad de recursos hídricos que tenemos que disponer y el establecimiento de abastecimientos alternativos ante riesgos estructurales por causas externas, los sistemas de abastecimiento que se recomienden como alternativas para el suministro de agua potable al Sistema Metropolitano deben reunir además unos requisitos mínimos que lo hagan continuo y regular.

La continuidad tendrá asociado el concepto de ininterrumpibilidad y la regularidad indicará que la calidad del servicio será alta y constante. En otras palabras el servicio hay que darlo de día, de noche, los días laborables, los días festivos, en periodo vacacional, en invierno, en verano, con tiempo seco y con tiempo lluvioso, con todo el personal activo y con personal de baja o permiso, cuando todo va bien y cuando surgen imprevistos.

Es en estas últimas condiciones cuando hay que extremar las potencialidades organizativas, no dejando al azar y a la improvisación las actuaciones que en cada caso sea preciso establecer y en este sentido se recomendaría la redacción de una cartera de planes ante los diferentes riesgos. Estos planes serían los siguientes:

- Plan de gestión de sequías
- Normas de explotación de las presas y embalses
- Clasificación de las presas por sus riesgos potenciales
- Planes de emergencia de presas
- Plan de emergencia del servicio (en alta) de abastecimiento
- Plan de emergencia del servicio (en alta) de saneamiento
- Plan de emergencia ante disfunciones en las redes de distribución de abastecimiento
- Plan de emergencia ante disfunciones en las redes de alcantarillado
- Plan de aseguramiento del riesgo

No son demasiado generalizables y se trata por lo tanto de trabajos a la medida.

III.15 Análisis de riesgos en sistemas de abastecimiento

El análisis de riesgos en un sistema de abastecimiento se realiza a partir de una clasificación de los riesgos, unas definiciones y una estandarización de los mismos en cada una de las partes en que se compone el sistema de abastecimiento.

Es muy útil acordar un léxico concreto, proponiendo las siguientes definiciones:

- **Riesgo:** Medida de la posibilidad de que ocurra (o no) un suceso adverso
- **Amenaza:** Suceso posible y adverso que implica un riesgo
- **Contingencia:** Situación dada por algo que puede ocurrir
- **Emergencia:** Situación dada por un suceso imprevisto que sobreviene
- **Vulnerabilidad:** Medida de la debilidad de un sistema para recibir el impacto de una amenaza.

Los riesgos los podemos dividir:

- **Riesgos naturales:**
 - Inundaciones
 - Sequías
 - Temporales
 - Terremotos
- **Riesgos tecnológicos y antropogénicos**
 - Relacionados con el agua de consumo
 - Contaminación de las fuentes de suministro
 - Por contaminación difusa
 - Por vertidos accidentales
 - Por vertidos delictivos
 - Blooms algales

- Brotes infecciosos
- Aparición de colis
- Relacionados con los sistemas productivos
 - Fallos de equipos electromecánicos
 - Fallos sistemas de monitorización, información, control y alarmas
 - Fallos operativos
 - Fallos por envejecimiento
- Relacionados con agentes externos
 - Fallos en el suministro de energía
 - Fallos en el aprovisionamiento de materias primas y repuestos
 - Fallos por huelgas de transporte
 - Fallos por sabotajes o actos vandálicos
 - Fallos en los sistemas de tele información

Todos estos riesgos podrán causar:

- Incidentes si el fallo no produce pérdidas de producción
- Accidente si el fallo produce pérdidas de producción o de cualquier activo (personas y cosas)
- Catástrofes si los fallos son tan generalizados que afectan de forma muy significativa a las personas y a las cosas, con pérdidas de producción generalizadas y afectación a los servicios públicos encargados de su atención.

Así pues un análisis de riesgos es un estudio de amplio calado, que se sale de los límites de este trabajo y que se desarrollaría mediante procesos para determinar los componentes críticos o débiles de los sistemas y las medidas de emergencia y mitigación necesarias. Un Plan de mitigación de la vulnerabilidad contendría el conjunto de medidas y obras a desarrollar antes del impacto de las amenazas para disminuir la vulnerabilidad de los componentes y de los sistemas y subsistemas. El Plan de emergencia y/o contingencia contendría el conjunto de medidas a aplicar antes, durante y después de que se presente una amenaza como respuesta al impacto de la misma.

Finalmente añadir que los planes de emergencia son obligatorios en EEUU (1974, Dafe Drinking Water Act) y en La UE a través de la Directiva Marco (2000/60).

Se realiza ahora una descripción general de un sistema de abastecimiento con el fin de acotar los riesgos, su probabilidad de ocurrencia y las actuaciones mitigantes.

III.15.1 Subsistema de captación

Se conoce por subsistema de captación al sistema de conductos y bombeos por los que se transporta agua bruta captada desde la fuente del recurso hasta el proceso de tratamiento. Para un caudal de transporte dado, su longitud y complejidad dependerá de la distancia a cubrir y de la topografía del terreno por donde discurre su traza.

En Europa siempre se conduce el agua desde la captación a la planta de forma canalizada o forzada para evitar su polución y evitar riesgos y alarma social por contaminación y complicar los procesos de tratamiento que no se encuentran preparados para acondicionar aguas con muchos posibles contaminantes (tanto difusos como puntuales).

Además las leyes europeas recomiendan siempre el "empaquetar" el recurso y únicamente si se justifica en base a informes que vinculen a las Autoridades Sanitarias que son las que aprueban la captación, pueden ser conducidas las aguas por los cursos naturales.

Sus longitudes pueden ser de hasta centenares de kilómetros y sus diámetros superiores a los dos metros por lo cual en ocasiones se recurren a conducir el agua por túneles ligeramente presurizados. El empleo de canales igualmente perforados en túnel o trazados siguiendo las curvas topográficas de nivel son prácticas extendidas en los proyectos de grandes aducciones.

Estas conducciones no revisten riesgos significativos, más allá de los derivados por roturas fortuitas, muy improbable por sus dimensiones. Su total estanqueidad permite considerar que no están sometidas a mermas de caudal. Las posibles pérdidas están asociadas a salidas de agua por ventosas, dispositivos antiariete, pero son pérdidas asociadas a la operación.

III.15.2 Subsistema de tratamiento

La Directiva 75/440/CEE establece la calidad requerida a las aguas superficiales destinadas a la producción de agua para alimentación. Se clasifican en tres grupos de valores límites A1, A2 y A3, que se corresponden con los métodos apropiados de

tratamiento que permiten su transformación en agua para la alimentación. El agua para consumo humano debe ser considerada como un alimento.

- Categoría A1. Tratamiento físico simple y desinfección
- Categoría A2. Tratamiento físico normal, tratamiento químico y desinfección
- Categoría A3. Tratamiento físico y químico intensivos, afino y desinfección

Las aguas tipo A1 son aquellas que deben tratarse simplemente con desinfección y si acaso, con una filtración rápida. El proceso se lleva a cabo en instalaciones sencillas, en las que los sistemas de desinfección elegidos marcan el costo. El empleo de la energía como fuente de desinfección, (ozonizadores, ultravioletas, etc.) es una solución muy extendida y eficaz.

Las aguas tipo A2 se acondicionan mediante procesos más complejos en las estaciones de tratamiento de aguas potables. La línea de tratamiento típica está compuesta por una precloración, coagulación, decantación, filtración y desinfección final.

Las aguas tipo A3 presenta superiores dificultades para su tratamiento y además de los procesos que se aplican para las aguas tipo A2, se hace necesario los tratamientos de afino. La filtración por carbono activo acompañada de la ozonización, dióxido de cloro y otros procesos diseñados singularmente constituyen soluciones válidas.

Este desarrollo fue especialmente intenso en Europa entre los años 1960 y 1980, en los cuales se construyeron todas las importantes estaciones de tratamiento con capacidad desde 1.000 l/s hasta 12.000 l/s en una sola instalación (Plantas de segunda generación).

Posteriormente y al perfeccionarse las técnicas y rendimientos de tratamiento de aguas a elevadas presiones y altos consumos de energía, comenzaron a construirse plantas con costos de emplazamiento y de obra civil considerablemente menores que las instalaciones tradicionales hasta ahora explotadas. Estas instalaciones acondicionan aguas de calidades límite y en ocasiones afectadas negativamente por las actividades agrícolas ¹

¹ El Real Decreto 261/1996, de 16 de febrero, sobre protección de las aguas contra la contaminación producida por los nitratos procedentes de fuentes agrarias, establece las medidas necesarias para prevenir y corregir la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas, así como la eutrofización de los embalses, estuarios y aguas litorales.

Emplean como procesos la ultrafiltración, la nanofiltración, la electrodiálisis reversible y la ósmosis inversa², que empiezan a desarrollarse con buenos resultados para pequeños abastecimientos (menos de 100.000 habitantes) a partir de 1985.

En España rige en la actualidad el Real Decreto 140/2003 de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano y deroga las disposiciones de igual o inferior rango que se opongan a lo establecido en el mismo y en particular el RD 1138/1990 de 14 de septiembre por el que se aprueba la Reglamentación técnica sanitaria para el abastecimiento y control de calidad de las aguas potables de consumo público, verdadera guía hasta ahora de la calidad de las aguas para el consumo humano y de su control.

La desalación mediante tecnología de membranas para las aguas subterráneas sometidas a procesos de salinización (incremento de sulfatos y / o de cloruros) es una tecnología con buen desarrollo en el Levante Español.

Las tendencias actuales en el tratamiento de las aguas para el consumo humano están relacionadas con la gestión eficiente del agua y con la reutilización de las aguas residuales para su uso en procesos donde la calidad exigida sea compatible con aquel.

En América del Sur, se aprecia una incidencia muy significativa en la pérdida de calidad de las aguas para el consumo humano y por la afectación de acuíferos con contaminación agrícola y ganadera de gran escala. Este es el caso del sistema Paso Severino-Aguas Corrientes. Esto puede llevar a justificar tratamientos complejos y en ocasiones el empleo de membranas con elevados costes energéticos

Los aspectos de la operación de una Planta están determinados por la definición de las dosis de reactivos, control del proceso de coagulación-floculación, funcionamiento de los decantadores y filtros, ozonización, cloración, fluoración, línea de fangos, recuperación aguas de lavado, mantenimiento de bombas dosificadoras y centrífugas, redes neumáticas, servicios auxiliares, equipos eléctricos, mecánicos, electrónicos e informáticos, etc.

Estas instalaciones bien mantenidas presentan un elevado grado de fiabilidad y las disfunciones que pueden acontecer están relacionadas con la pérdida temporal

2 De acuerdo con un informe de IDA, Asociación Internacional de Desalación, a finales del año 2000, la capacidad mundial de desalación era en el mundo de 23 hm³ /día repartidos en más de 12.500 plantas. De esta cantidad de 23 hm³ / día, 14 hm³ /día son volúmenes desalados de agua de mar y el resto es decir, 9 hm³ /día son volúmenes desalados de aguas salobres continentales.

(máximo semanas) de alguna línea de tratamiento, resuelta por el sobredimensionamiento del resto. Es muy recomendable (ejemplo de la ETAP de Venta Alta para 8 m³/s del área del Bilbao Metropolitano) que una Usina se encuentre dividida en dos partes independientes y cada una de ellas para atender una demanda de 2/3 del total.

El principal fallo que puede ocasionar la parada de una planta, está en la alimentación eléctrica. Esta contingencia se soluciona con el establecimiento de grupos electrógenos, puesto que la potencia que necesita una planta no es excesiva, y además en estas condiciones se realizaría un deslastre de cargas.

Un desabastecimiento de productos químicos es un factor de riesgo que puede ocasionar una importante disfunción en una planta. Se recomienda disponer planes alternativos ante este tipo de episodios por huelgas, carencia de materias primas, bloque de carreteras por inundaciones, etc. La mejor alternativa es la disposición de un almacenamiento para un mes de los productos más sensibles como el cloro, hiposulfito para producción de dióxido, etc.

Los residuos que generan estas instalaciones deben ser tratados. Normalmente, estos residuos son los lodos procedentes de la decantación y en menor medida de la filtración. Todos ellos con alto contenido en aluminio o en el metal que constituye el elemento coagulador-floculador y también metales pesados teniendo la consideración de lodos inertes, por lo que su proceso en vertederos autorizados no derivan problemas significativos.

III.15.3 Subsistema de bombeo y distribución

Lo constituyen los depósitos de almacenamiento de agua tratada para optimizar el dimensionado de las instalaciones de aguas arriba. Su objetivo es aportar una reserva adicional de agua, contribuir a la homogeneización de presiones en la red de distribución, así como permitir la modulación del consumo asociado a ésta, sin que se manifiesten puntas en la red primaria y en las estaciones de tratamiento de aguas potables.

Los criterios para determinar la capacidad de almacenamiento son variados y dependen de muchos factores por lo que una generalización no es posible. Nunca debe considerarse a los subsistemas de almacenamiento como reservas estratégicas de agua y sí como elementos que faciliten la explotación, ahorran costos y amortiguan los efectos de un fallo en los sistemas.

Las operaciones asignadas y las consignas para su explotación deben responder a la consecución de un caudal de tratamiento lo más uniforme posible. El mantenimiento

debe prestar su servicio en el entorno de salas de válvulas, donde se alojan los equipos de medida en alta, valvulería, entradas y salidas de aire, armarios de telemida y telemando, válvulas de sobrevelocidad, etc.

Su emplazamiento debe establecerse de acuerdo con las condiciones deseadas de funcionamiento de la red y pueden establecerse en cabecera, en cola o en ambos emplazamientos.

El empleo de depósitos elevados en territorios planos es una práctica muy habitual si bien también se pueden adoptar soluciones con depósitos enterrados que alimentan la red mediante sistemas de bombeo de alto rendimiento, con reguladores de velocidad para optimizar el punto de funcionamiento respecto a la demanda punta y condiciones de presión establecidas.

Las pérdidas de agua por rebasamiento son posibles e importantes y deben ser vigiladas por sistemas SCADs y de ser posible, medidas en los puntos de desagüe o en los propios vertederos de alivio.

III.15. 4. Subsistema de distribución

Es el conjunto de tuberías, piezas especiales, accesorios, arquetas, registros, válvulas, llaves de paso, bocas de riego, hidrantes, acometidas, dispositivos de control, etc. necesarias para unir el subsistema de almacenamiento con las acometidas privadas.

Su tipología está afectada por muchas variantes y en general se establecen mallas en zonas urbanas de alta densidad urbana y redes arborescentes en distribuciones rurales y diseminadas. Atendiendo al número de tuberías por los subsuelos de las zonas urbanas, puede establecerse con una conducción única trazada por la calzada, de las cuales se injertan las conexiones o acometidas, (largas y cortas); o bien realizarse con dos y hasta tres tuberías (calzada y aceras) en sistemas de alta densidad urbana.

Las arterias, que forman parte de la distribución, son conducciones de distribución con diámetros superiores a 300 mm sobre las que nunca se realizan las acometidas; se trazan envoltentes cada un número determinado de manzanas.

Se emplean además para unir los subsistemas de almacenamiento con los depósitos de cabeza y cola, con posibilidad incluso de inversión de la circulación del caudal en horas de elevados consumo y también para crear cinturones o anillos de seguridad alimentados desde varios puntos o depósitos, siendo imprescindible una correcta disposición de válvulas de seccionamiento.

El subsuelo es el "hábitat" de este tipo de redes siendo. Su racional ocupación, así como el reparto y explotación de estos espacios nunca ha sido convenientemente racionalizada. Los servicios asociados tienen que estar determinados por una sólida implantación de equipos de auscultación, seguimiento de la explotación, funcionamiento de depósitos, bombes y redes, servicios de almacén, brigadas permanentes de reparación de averías y un estructurado centro de recepción de llamadas de los usuarios. Los datos urbanos de diversas ciudades de variada tipología con indicación de la longitud de sus redes de distribución son los siguientes:

	Habitantes	Hab/viv.	n ° viviendas	Total km ²	Urbana km ²	viv/ha Bruta	viv/ha Urbana	Km Red	m.l/viv.
Barcelona	1.510.000	2,30	656.522	99	50	66,50	131,77	2.026	3,086
Bilbao	342.004	2,47	138.463	41	11	33,53	125,88	500	3,611
Vitoria	217000	2,54	85452	277	15	3,09	58,13	627	7,335
San Sebastián	180.000	2,36	76.239	62	9	12,40	80,59	480	6,296
Erandio	22.500	2,57	8.745	18	1	5,00	161,94	85	9,720
Mungía	13.900	2,47	5.627	51	1	1,10	56,27	102	18,127
Madrid Total	2.938.000	2,30	1.277.391	605	220	21,11	58,063	2.587	2,025
Paris Centro	2.150.000	2,20	977.273	700	180	13,96	54,29	3.588	3,671

Tabla III.32. Tipología urbana en diversas ciudades y los km de red de tuberías de abastecimiento.

Este subsistema es el más vulnerable de todos pero a una escala de afectación muy reducida. Únicamente en ocasiones de grandes roturas pueden verse afectados durante como máximo un día unos miles de usuarios.

Sin embargo existe una relación muy estrecha entre la forma de manejar las incidencias y la calidad del agua servida, razón por la cual debe ser muy cuidada la puesta en servicio purgando la red al alcantarillado hasta conseguir agua exenta de turbidez.

Durante los cortes de agua para reparaciones hay que prestar mucha atención a las bocas de riego despresurizadas, por donde puede penetrar aguas de lluvia, de riego de calles, o aguas residuales, con el consiguiente riesgo de contaminación.

III.16 Riesgos en el sistema de abastecimiento de agua al Sistema Metropolitano

Se realiza en primer lugar una descripción de las instalaciones más importantes:

III.16.1. Subsistema de captación

Elementos significativos:

- Presa de materiales sueltos y embalse de Paso Severino de 70 hm³ de capacidad sobre el río Santa Lucía Chico
- Azud de toma junto a la Usina de Aguas Corrientes para posibilitar el bombeo de agua bruta de 1.800.000 hm³ de capacidad según proyecto
- Tres tomas desde el mencionado azud:
 - La toma N°1 consiste en un túnel de gravedad de sección 1.066m x 1.37m que conduce el agua bruta hacia la antigua Usina de Vapor, para bombearla luego hacia el sector denominado “Planta vieja”. Fue rehabilitada en 1994 luego de décadas de inactividad
 - La toma N°2 consiste en un túnel de 1200 mm de diámetro que suministra agua bruta hacia la Sala Diesel. Se bombea hacia el sector Planta vieja.
 - La toma N°3 consiste en un túnel de 1800 mm de diámetro con desarenador, que suministra agua bruta a las bombas de la Sala Eléctrica, bombeando hacia el sector denominado “Planta nueva”
- Tres salas de bombeo:
 - Sala de vapor: Desde la toma N°1 y el túnel de gravedad se conduce el agua bruta a la Sala Vapor, donde están instalados 3 equipos sumergibles marca Flygt (bombas centrífugas de eje vertical, una de caudal 5760 m³/h y las dos restantes de 3200 m³/h cada una)
 - Sala Diesel: Desde la toma N°2 y el túnel de 1200 mm se conduce el agua bruta a la Sala Diesel, donde se encuentran instalados 3 bombas marca Ebara (centrífugas de eje vertical con carcasa partida, caudal 3666 m³/h cada una)

- Sala eléctrica: Desde la toma N°1 y el túnel de 1800 mm se conduce el agua bruta a la Sala Eléctrica, donde se encuentran instaladas 10 **bombas** marca KSB (centrífugas de eje horizontal, caudal 1700 m³/h cada una, elevando hacia PN)
- Dos bombas sumergibles en la toma N°2, marca Flygt 2250, con tendidos de tubería de PVC de 315 mm hacia las unidades de mezcla rápida, con lo cual se obtuvo una capacidad adicional de 1.000 m³/h entre PN y PV

III.16.2. Subsistema de tratamiento

- Sistema Planta Vieja, las instalaciones se componen de:
 - Mezcla rápida: Canal Parshall, donde se produce el resalto necesario para realizar la mezcla rápida de los productos químicos que se incorporan al agua para su potabilización. Para mejorar la mezcla en la dirección transversal a la garganta del canal se colocaron chicanas. De esta unidad, el agua es conducida hacia los floculadores. En esta unidad el mayor problema radica en la asimetría del flujo debido a la variabilidad de los caudales afluentes a este canal desde las tuberías de impulsión de baja.
 - Floculadores: Estas unidades se componen de dos floculadores de 7 celdas c/u con floculación mecánica (con motores de velocidad variable) e hidráulica, de chicanas verticales, capacidad máxima 28.000 m³/h totales. De allí el agua es conducida hacia los decantadores
 - Decantadores: se trata de 4 sedimentadores convencionales de flujo horizontal, con 2 sectores c/u, con las siguientes dimensiones por sector: dos decantadores de área 34m x74m y los otros dos de 29m x72m, altura útil aproximada de 3.70m. La capacidad total de decantación sería del orden de 36.000 m³/h, pero la limitante resulta ser la capacidad hidráulica y el tiempo de retención de los floculadores. El problema surge en el momento de limpieza de una línea de floculación, en que se pierden del orden de 14.000 m³/h de capacidad de tratamiento
- Sistema Planta Nueva, las instalaciones se componen de:
 - 4 clarificadores de alta tasa, con una capacidad promedio de 12.000 m³/h y pico de 15.000 m³/h, y floculación mecánica e hidráulica previa, de chicanas verticales. En este caso la mezcla rápida se realiza en un canal que cuenta con estrangulamiento y cambio de pendiente de fondo a los efectos de generar el resalto hidráulico donde se aplican los coagulantes.

- By pass a la cámara de mezcla con una capacidad de 9.000 m³/h
- Filtración se realiza mediante dos baterías:
 - Batería formada por 20 filtros rápidos de tasa constante, con manto de arena, 19 con falso fondo del tipo Wheeler y uno con boquillas de PVC. Cada filtro a su vez consta de dos lechos, cada uno de ellos con un área aproximada de 100 m². El sistema de lavado es con agua a contracorriente a través de los falsos fondos, con un complemento de lavado superficial con agua con brazos tipo Palmer. El control de funcionamiento es automático, por señal de nivel del canal de agua decantada y caudal máximo por filtro, con una capacidad máxima aproximada de 28.000 m³/h y
 - Batería formada de 8 filtros de tasa declinante escalonada, de lavado mutuo, con manto de arena y antracita y falsos fondos Leopold, con una capacidad normal de 10.000 m³/h, y pico de 15.000 m³/h.
 - El agua filtrada proveniente de la nueva batería es conducida a dos tanques tabicados yuxtapuestos que proporcionan el tiempo de contacto necesario para la desinfección (30 min) y permiten efectuar corrección de pH. Posteriormente el agua es conducida por gravedad hacia la cámara de salida de los depósitos de agua filtrada.
 - Además, la Usina cuenta con dos depósitos de agua filtrada con una capacidad total de 35.000m³ y en los mismos se realiza la desinfección final del agua que proviene de la vieja batería de 20 filtros (también se efectúa la eventual corrección de pH). Desde una cámara de salida de estos depósitos succionan las denominadas bombas de “alta”.

III.16.3. Subsistema aducción (bombeo en alta+aductoras)

Está constituido por:

- Sala Diesel cuenta con 3 bombas Ebara (centrífugas de eje vertical con carcasa partida con motores Toshiba) caudal 3.300 m³/h c/u a una altura de elevación de 145m y 3 bombas Flowserve (centrífugas de eje horizontal con carcasa partida con motores ABB) caudal 3.636 m³/h c/u a una altura de 152 m

- Sala Eléctrica cuenta con 10 bombas KSB (centrífugas de eje horizontal con motores Siemens) y caudal 1.800 m³/h c/u a una altura de elevación de 132m

Las líneas aductoras de indican en la tabla siguiente:

	Diámetro (mm)	Material	Caudal (m ³ /h)	Presión (mca)
1ª Línea de Bombeo	610	Fundición gris	650	115
4ª Línea de Bombeo	1520	Hormigón	8.500 / 12.000 (*)	132/120
5ª Línea de Bombeo	1500	Fundición dúctil K9	8.000 /11.000 (**)	124/155
6ª línea de Bombeo	1200	Fundición dúctil K7	6.500/10.000 (***)	138/160

Tabla III.33. Características de las líneas operativas

(*) Caudales sin y con recalque de la 4LB

(**) Caudal medio y pico de verano

(***) Caudal promedio actual y caudal pico

III.16.4. Sistema de alimentación eléctrica

- Una subestación de 150/31.5 KV y potencia instalada de 30 MVA,
- Dos subestaciones de 31.5/2.3 KV, una de potencia 9 MVA denominada AEG y la otra de 15 MVA denominada S+S y
- Una subestación de 31.5/6.86 KV de potencia 20/24 MVA denominada ABB1.
- Actualmente está en construcción una nueva subestación denominada ABB2 que sustituirá a la actual S+S, de 31.5/6.86/2.3 kv de potencia 16/20 MVA la cual se pondrá en servicio antes de fin de año.

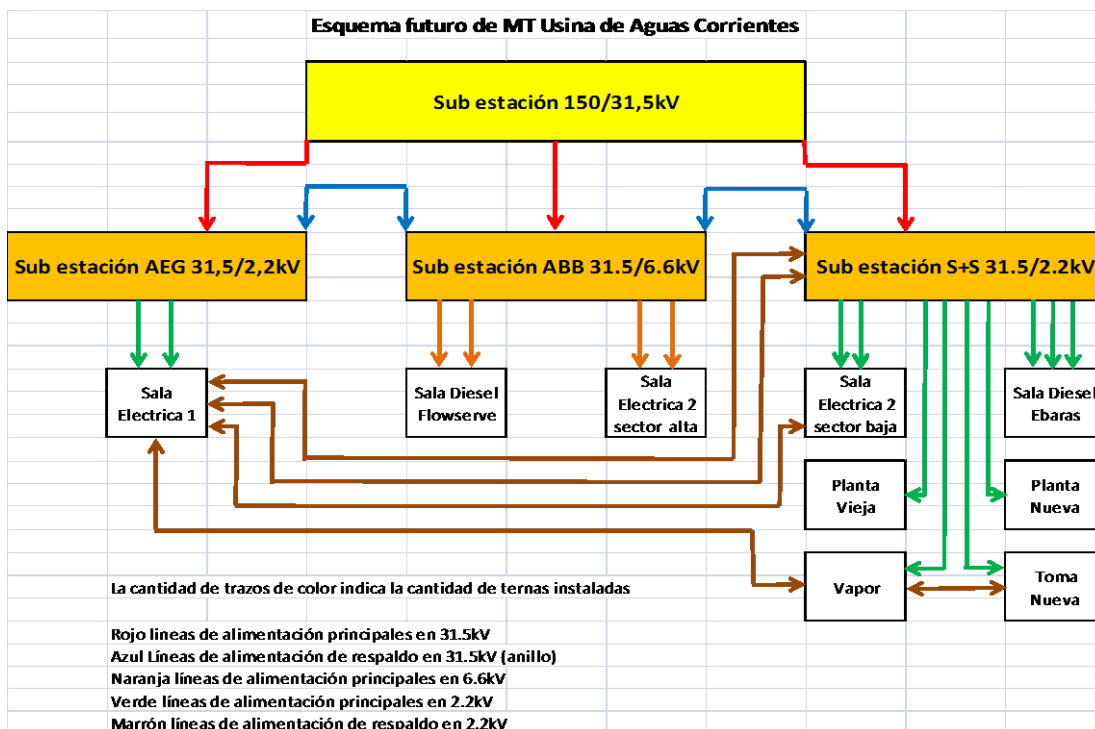


Figura III. 18. Esquema futuro de distribución eléctrica en alta tensión

III.16.5. Subsistema dosificación productos químicos

Los productos químicos normalmente utilizados son el sulfato de alumina como coagulante y polielectrolito como ayudante de floculación, agregándose, en caso de ser necesario un alcalinizante para corrección de pH (soda cáustica líquida y eventualmente cal hidratada).

Cuando la calidad del agua así lo exige, se utiliza además carbón activado en polvo, para eliminar por adsorción el color y las sustancias orgánicas que generan olor y sabor. El agua es desinfectada con cloro a la entrada de los depósitos de agua filtrada, realizándose también una intercloración previa del agua antes del ingreso a los filtros. Todo esto se realiza desde una nueva sala de cloración (cloro líquido) construida en el año 2010. Como desinfección de respaldo se cuenta con aplicación de hipoclorito de sodio.

III.16.6. Estado de cobertura de la Usina

- Capacidad bombeo agua bruta 100% bombas funcionando: 40.158 m³/h
- Capacidad filtración total 100% filtros filtrando: 41.125 m³/h
- Capacidad bombeo de alta 100% bombas funcionando: 39.300 m³/h
- Capacidad aducción 100% líneas operativas: 33.650 m³/h
- Caudal pico año 2035: 32.120 m³/h
- Caudal pico año 2045: 32.700 m³/h

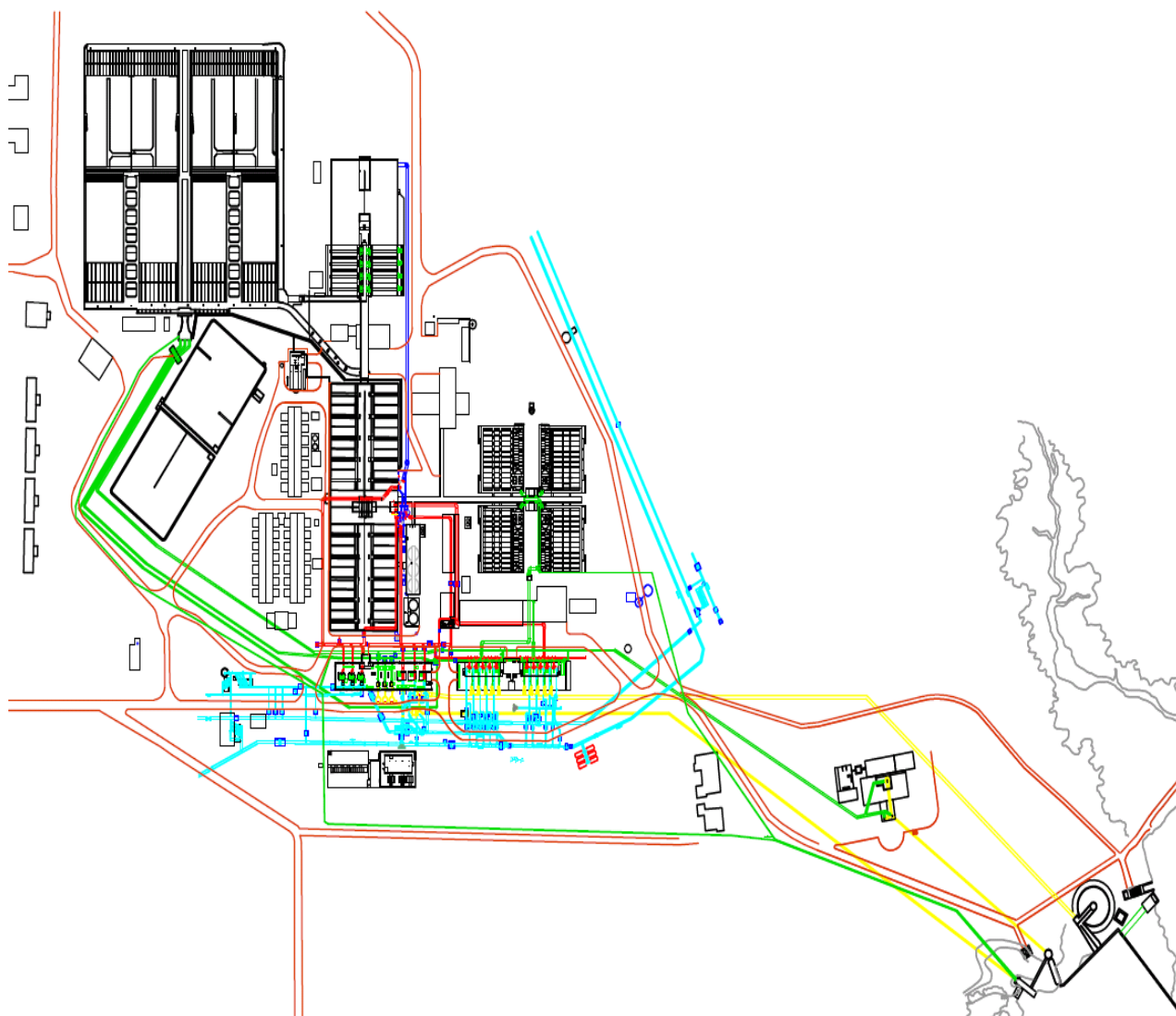


Figura III.19. Vista de la Usina

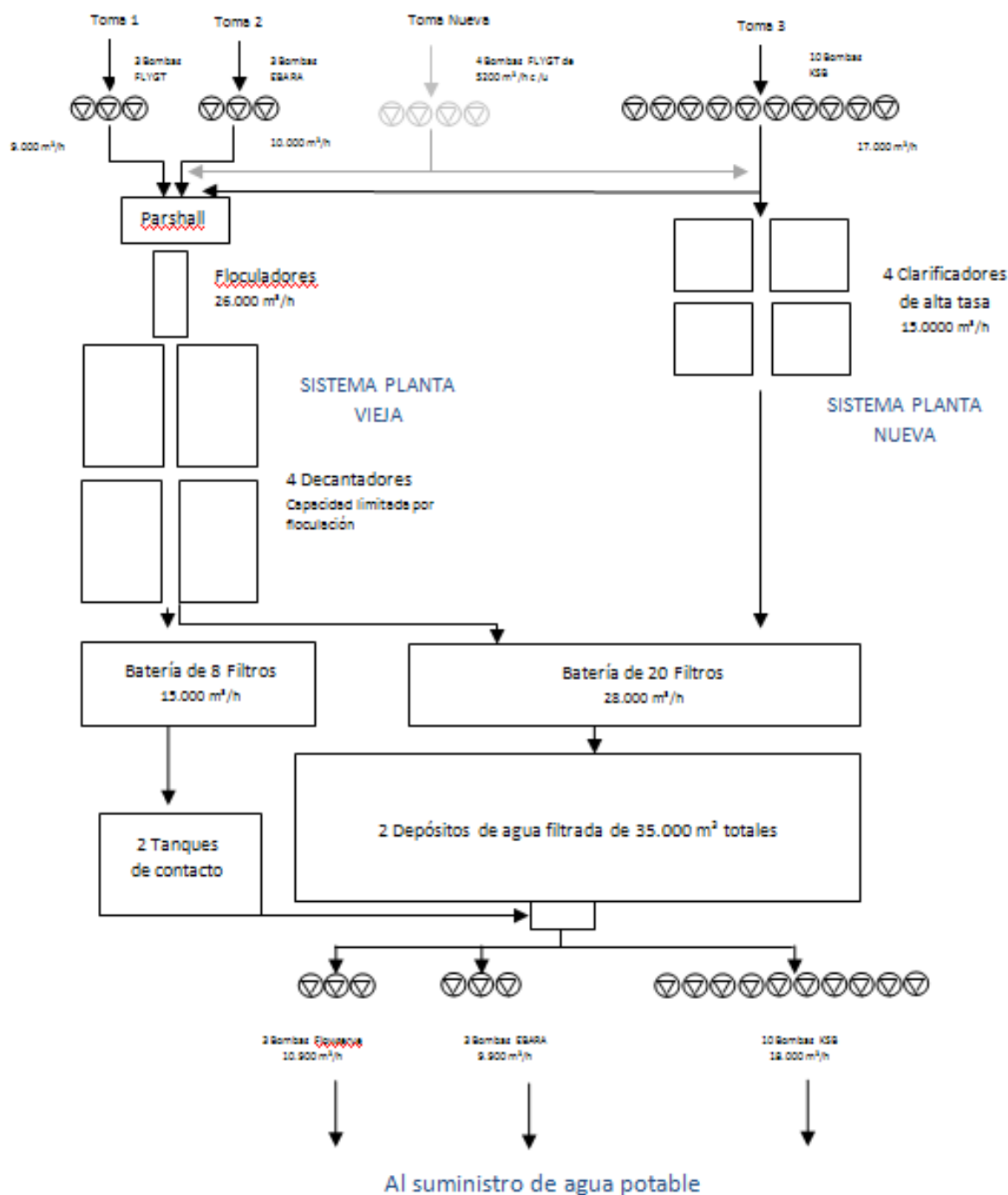


Figura III.20. Esquema de funcionamiento Usina Aguas Corrientes

Al momento de la elaboración de este Informe, se encuentran encaminados los siguientes proyectos y obras a ser ejecutadas a corto plazo:

1. **Nueva obra de toma:** comprende propiamente la toma en el río, el pozo de bombas con capacidad para 5 bombas, línea de impulsión en 1500 mm hacia los decantadores de Planta Vieja y nuevo canal de mezcla. Se prevé además una tubería de interconexión de 1200 mm de diámetro desde la impulsión de las nuevas bombas hacia la impulsión de Vapor, a los efectos de poder también mandar agua hacia Planta Nueva. Se estima que estas obras estarán finalizadas al 2015. Ya se tramitó la compra de las 4 bombas Flygt con capacidad para 5000 m³/h c/u contra una carga de 23 m. Con estas obras se tendría respaldo para permitir la limpieza del túnel de 1800 (afectado por incrustaciones con mejillón dorado) y capacidad suficiente de bombeo de agua bruta hacia Planta Vieja.
2. **Mejora de la instalación de aplicación de carbón activado en polvo:** Se pretende mejorar a corto plazo las instalaciones a los efectos de poder dosificar en forma segura una dosis de 100 ppm de carbón, contando con un stock para un evento de 10 días corridos.
3. Dentro del Plan Estratégico de la Empresa para el año 2013, se encuentra la **construcción de una planta de preoxidación de dióxido de cloro**, con el objetivo de oxidar compuestos orgánicos.
4. Licitación en proceso de adjudicación para el **suministro e instalación de nuevos motores y celdas** de 6.6 kV para sustituir los actuales motores de las bombas KSB de alta y las respectivas celdas, lo que mejorará la confiabilidad y la eficiencia energética de un grupo importante de equipos de bombeo.
5. Ya se han efectuado obras de reparación de márgenes en la presa de Paso Severino y se adjudicó una Consultoría que definirá las obras necesarias para la sobreelevación de la presa que permitirá un aumento de la reserva de agua bruta.

III.16.7. Comentarios

La estructura actual de los recursos hídricos que abastecen al Sistema Metropolitano resultan insuficientes para garantizar la fiabilidad ante un evento de alta gravedad o un suceso catastrófico. No sería sin embargo necesario disponer de una nueva Usina de igual capacidad como instalación en stand by. Ningún abastecimiento lo tiene y la

95

diversidad de las plantas son de índole territorial y vinculadas a la distribución geográfica de los recursos

Además, realizado este importante comentario, el sistema de abastecimiento de agua potable al Sistema Metropolitano es homologable a cualquier sistema europeo de su magnitud e importancia. No obstante sería conveniente realizar un análisis de riesgos y de fiabilidad para poder poner cifras a estas apreciaciones.

La Usina en concreto cuenta prácticamente con dos líneas de tratamiento con sistemas electromecánicos muy robustos y dimensionados muy adecuadamente, siendo significativa la escasa complejidad electrónica de los automatismos, lo que les confiere especial seguridad. El número de OTs (ordenes de trabajo) que se gestionan anualmente indica una tasa de carga de trabajo de mantenimiento asimilable a instalaciones en el óptimo de su ciclo de vida. También sería conveniente organizar una gestión modernizada del mantenimiento con la implantación de tres áreas, planificación, ejecución e ingeniería modificativa con vínculos con los servicios de explotación de la planta

Las limitaciones que se encuentran están relacionadas con la capacidad de bombeo de alta que se encuentran cercanas a su saturación y dejando con poco margen de reserva de bombas y el propio sistema de aducción, limitado a 33.650 m³/h que constituye el mayor cuello de botella puesto que en la hipótesis más optimista se esperan demandas horarias de casi 35.000 m³/h, lo cual supone un déficit de 40.000 m³/día que no parece excesivo.

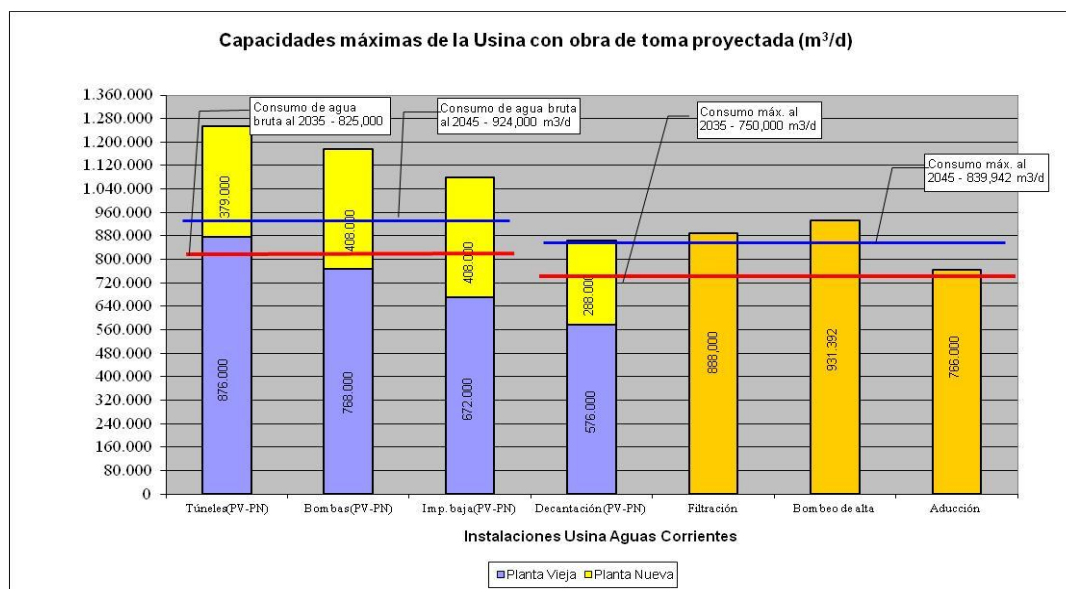


Figura III.21. Capacidades máximas de la Usina con las obras proyectadas

III.17. Matriz de criticidad

No obstante a lo dicho sobre las dificultades y complejidad de realizar, con muy escaso número de datos un análisis de riesgos que desembocara en una serie de Planes de emergencia o contingencia, se ha elaborado una Matriz de Criticidad donde se puede apreciar las amenazas que cada subsistema tiene que soportar, el soporte normativo existente y los planes paliativos. Dicha matriz se encuentra en el Anexo N°5.

III.18. Conclusiones del diagnóstico de la cantidad de agua en la cuenca del río Santa Lucía y su potencialidad para satisfacer el abastecimiento de agua potable al Sistema Metropolitano

Son las siguientes:

1. La calidad de la “cantidad de agua” global de un sistema de abastecimiento de agua se mide fundamentalmente por tres tipos de indicadores:
 - a. Indicadores de la cantidad del recurso disponible en el medio natural que miden el nivel de garantía como la probabilidad de no tener un suceso adverso, o no rebasar un determinado umbral
 - b. Indicadores de redundancia, que valoran el potencial de un segundo sistema de abastecimiento, sea capaz por sí mismo de satisfacer el 100% de la demanda durante un cierto intervalo de tiempo.
 - c. Indicadores de eficiencia que valoran el funcionamiento de los procesos que implican captar, tratar y distribuir agua. Pero entre ellos, el más importante es aquel que indica el nivel de agua no justificada del balance hidráulico del sistema.
2. Se disponen de bases de datos de variables hidrológicas muy consistentes y con gran densidad de datos. Los resultados y conclusiones a los que se lleguen a través de los mismos serán de gran solidez.
3. El río Santa Lucía dispone de recursos hidráulicos enormemente superiores a las necesidades del Sistema Metropolitano, aún en años de mayor sequía.

4. La extrema variabilidad de los caudales por el río Santa Lucía con “rachas de caudales” por debajo de la demanda, es la que produce los descensos de la reserva del agua embalsada y la gran incertidumbre.
5. El embalse de Paso Severino es capaz de regular de forma continua 3,5 m³/s en su configuración actual considerando una reserva de agua para 60 días del caudal regulado y un volumen inutilizable de 10 hm³. Esta forma de operar no es sostenible con el sistema de reservas actuales, puesto que el río Santa Lucía no dispone de caudales suplementarios cualquier día del año.
6. La explotación del sistema de Aguas Corrientes embalse-río, presenta resultados razonables hasta el caudal de 7,5 m³/s (representativo de la situación actual), siempre con la ayuda del bombeo de las aguas del remanso del Santa Lucía, afectadas en ocasiones por los contenidos en cloruros.
7. Un ligero aumento de la demanda produciría, en sequías similares a la del año 2008, situaciones comprometidas.
8. Se identifica como el mayor inconveniente del sistema de abastecimiento al Sistema Metropolitano la falta de regulación y la ausencia de caudales ecológicos que contribuyan a mantener el agua fluyente en sus máximas condiciones naturales. Se estima que el déficit de regulación para ajustarse a los estándares internacionales puede superar los 100 hm³.
9. El nivel de garantía del abastecimiento debe plantearse siguiendo recomendaciones de estándares internacionales, siendo de interés la confección de planes de contingencia. En la UE y en los EE.UU son de obligado cumplimiento.
10. Para definir el nivel de garantía es indispensable fijar los límites del riesgo y decidir la cantidad de reserva que nunca debe ser rebasada (coeficiente de seguridad). Esta reserva deberá estar definida dentro de los Planes indicados en el punto anterior y deberían ser motivo de aprobación gubernamental como una ley de reparto de la escasez.
11. El nivel de garantía estimado para 8 m³/s es del 96%, cuando los abastecimiento de los que se tiene referencia y los planes consultado, fijan la garantía en un 98%. Esto quiere decir que se permitiría descender del umbral (restricciones) 1 vez cada 50 años.
12. La fiabilidad del sistema de abastecimiento considerándolo como un proceso de subsistemas en serie, no justifica la duplicidad de grandes infraestructuras de carácter industrial, como tampoco lo están las centrales de producción eléctrica o centros de transformación de materias primas de primera necesidad.

13. El benchmarking (ver Anexo N°4) con otras áreas urbanas de más de 1.500.000 de habitantes es un método para el análisis comparado de las distintas configuraciones que un sistema de abastecimiento seguro debe poseer de forma intrínseca.
14. En relación con la comparativa con otras áreas metropolitanas se debe resaltar como aspectos positivos a analizar:
 - a. La notable presencia de agua embalsada
 - b. La existencia siempre de dos o más reservas de agua bruta independientes pero interrelacionadas
 - c. El transporte de agua hasta las usinas siempre se realiza entubando o canalizando las aguas brutas desde los embalses.
 - d. Cuando existen varias usinas de tratamiento, no se identifica nunca que cada una pueda por si sola suministrar toda la demanda. Son plantas que suministran a zonas concretas, pudiendo eso sí, haber intercomunicaciones a través de las redes principales de aducción
15. La posibilidad de aparición de fenómenos naturales adversos o disfunciones en la calidad del agua justifica disponer de más de una reserva de agua bruta, concebida cada una de ellas para suministrar agua a la totalidad de la población durante un periodo suficientemente largo como para poder rebasar a la amenaza, corregir la deficiencia o recomponer provisionalmente el servicio.
16. El establecimiento de un protocolo de actuación para operar dos o más sistemas de abastecimiento, es también otro aspecto prioritario.
17. El déficit de regulación se mitiga también reduciendo la demanda. Esta actuación o plan para la reducción de fugas de agua, deberá formar parte de cualquier alternativa de abastecimiento.
18. De la información disponible se desprende que el nivel de fugas en el área Metropolitana de Montevideo está en el entorno del 27%, cifra muy común en sistemas de distribución de 5.000 km.

Por todo lo expuesto se puede afirmar que el Sistema Metropolitano a fecha de hoy tiene un sistema de abastecimiento que se ajusta a los estándares internacionales más conservadores con niveles de garantía y eficiencia iguales o muy próximos a los más exigentes.

III.19. Actuaciones derivadas del PDAPM elaborado por el Consorcio SOGREAH, SAFEGE, CSI en el año 2001

Se puede afirmar que Montevideo y su área Metropolitana, con consumos de hasta 7,5 m³/s de modo continuo detraídos del sistema Santa Lucía-Paso Severino, tiene un sistema de abastecimiento que se ajusta totalmente a los estándares internacionales más conservadores con niveles de garantía y eficiencia igual o muy próximos a los más exigentes, ya que no todos los abastecimientos disponen de sistemas redundantes capaces de atender el 100% de la demanda por sí mismos.

Esta aseveración no supone admitir que el sistema de abastecimiento de agua al Sistema Metropolitano se encuentre culminado y en una situación de aseguramiento. Es en el corto plazo como consecuencia de un aumento lento pero progresivo de la demanda donde pueden acontecer los inconvenientes

Se observa que el progresivo aumento de la demanda, con requerimientos de bombeo superiores a los 7,5 m³/s, se encuentran muy próximos al régimen fluvial base de verano del río Santa Lucía en Aguas Corrientes.

Esto implica que también progresivamente el abastecimiento dependa estrechamente de la meteorología a corto plazo, desapareciendo el sentimiento de independencia climatológica como sensación positiva que debe imperar en un abastecimiento bajo coberturas amplias y seguras.

Esta cuestión fue detectada y declarada en el año 2000 en el Plan Director de Agua Potable elaborado por el Consorcio SOGREAH, SAFEGE, CSI.

Ahora, 13 años después y acelerados por los acontecimiento de una climatología insistentemente adversa y especialmente intensa, se hace preciso tomar una decisión a muy corto plazo.

Las distintas alternativas fueron profusamente estudiadas, desechándose unas, considerándose otras, pero tan solo el recrecimiento de la presa de Paso Severino, como solución que cumplía con todos los objetivos técnicos, rápida de implantar, económico en el costo fue propuesta. Pero dejaba al descubierto un requisito que se considera fundamental, y es la disposición de un sistema de regulación alternativo de segunda opción, que habría que definir e incorporar al plan que se proponga además de otras actuaciones que este equipo consultor considere justificadamente planteables.

III.20. Información anexa.

- Anexo N° 1. Base de datos de series hidrológicas utilizadas
- Anexo N° 2. Modelos hidrológicos
- Anexo N° 3. Guía para la elaboración de Planes de Emergencia y protocolo actuación ante sequías
- Anexo N° 4. Sistemas de abastecimiento a otras áreas metropolitanas.
- Anexo N° 5. Matriz de riesgos

CAPITULO IV. DIAGNÓSTICO DE CALIDAD DE AGUA BRUTA Y TRATADA EN LA PLANTA POTABILIZADORA DE AGUAS CORRIENTES

En el presente capítulo se realiza un análisis exhaustivo de información y estudios antecedentes vinculados a la calidad del agua del Río Santa Lucía y sus principales afluentes, aguas arriba de la Usina de Aguas Corrientes. Esa información es objeto de procesamiento y análisis para su calificación en cuanto a su estado de calidad y aptitud para fuente de abastecimiento de agua potable.

A estos efectos se tienen en cuenta criterios y directivas nacionales e internacionales de referencia. Asimismo se efectúan consideraciones en cuanto a vinculación del estado de calidad del agua del curso y las condiciones de la cuenca y principales actividades antrópicas en la misma. Sobre estos lineamientos se realiza una proyección de estado de calidad esperable para el período de previsión del Proyecto.

A partir de las conclusiones a alcanzar se cuenta con elementos objetivos para la confirmación de la aptitud de uso de la fuente principal del Sistema Montevideo, y la identificación de eventuales condiciones de vulnerabilidad que determinen necesidades específicas de tratamiento para garantizar un servicio de abastecimiento de agua potable de alto estándar cumpliendo rigurosamente con la normativa vigente nacional y la evolución esperable de la misma en función de tendencias internacionales.

IV.1 Características principales de la Cuenca del río Santa Lucía

La cuenca del Río Santa Lucía se extiende a través de 13.310 km², siendo la tercera en importancia de superficie a escala nacional, según la clasificación de grandes cuencas considerada por DNH. En Aguas Corrientes la cuenca abarca una superficie de 9.200 km².

IV.1.1 Topografía

Al este de la cuenca se registran las mayores cotas, dando lugar a la naciente del curso principal. En esta zona se presentan valles encajonados, en los cuales los cursos fluviales transcurren dirigidos principalmente por la litología de base. La zona correspondiente al centro de la cuenca se caracteriza por presentar ondulaciones suaves, que no superan en promedio los 100 m. En esta área el Río Santa Lucía comienza a presentar un lecho mayor, más ancho, al fluir por depósitos sedimentarios.

IV.1.2 Hidrología y clima

La distribución espacial de precipitaciones en Uruguay forma un gradiente decreciente, con un valor máximo anual de 1.400 mm en el Noreste y un mínimo de aproximadamente 900 mm en el Sudoeste del país, siendo para la cuenca una precipitación media anual de 1.150 mm (DNM, 1961-1990).

Las desviaciones de la precipitación media mensual son importantes en todo el país, sin embargo, para la precipitación anual estas variaciones se encuentran amortiguadas, presentando una desviación menor al 25% respecto a la media.

En el presente estudio se utilizó la información disponible de la DNM, en su estación más representativa de Libertad (Código 568), con datos disponibles desde 1981.

Como aproximación del funcionamiento hidrológico de la Cuenca del Río Santa Lucía a partir de la información disponible de mediciones de caudales (DNH), régimen de precipitaciones y demás variables climáticas asociadas (DNM, INIA), además de la humedad del suelo (MGAP), se obtiene un coeficiente de escorrentía aproximado de 0,3. A partir de ello, y tomando en cuenta la precipitación media en la cuenca por año, el escurrimiento medio anual resulta ser de 345 mm.

La determinación de la escorrentía media anual permite estimar los aportes por fuentes difusas (fertilizantes, estiércol, plaguicidas) a cuerpos de agua superficiales,

siendo un parámetro de entrada para muchos modelos de transporte de contaminantes, además de ayudar a reducir los rangos establecidos por los coeficientes de exportación de nutrientes.

Río Santa Lucía - Estación 23.0 San Ramón		
	1980 -2004	1996 -2005
PROM (m^3/s)	47,62	55,11
MAX (m^3/s)	318,53	272,97
MIN (m^3/s)	0,77	1,19
Río Santa Lucía Ch. - Est. 53.1 Florida - Puente R.5		
	1980 -2004	1996 -2005
PROM (m^3/s)	22,09	22,54
MAX (m^3/s)	185,32	148,22
MIN (m^3/s)	0,05	0,03
Río Santa Lucía - Est. 59.1 Paso Pache		
	1980 -2004	1996 -2005
PROM (m^3/s)	60,23	69,29
MAX (m^3/s)	437,46	371,9
MIN (m^3/s)	0,86	1,64
Río Santa Lucía - Est. 117.0 Paso Roldán		
	1980 -2004	1996 -2005
PROM (m^3/s)	17,59	20,59
MAX (m^3/s)	153,91	149,63
MIN (m^3/s)	0,13	0,12
Arroyo Casupá - Est. 119.0 Paso de los Troncos		
	1980 -2004	1996 -2005
PROM (m^3/s)	7,01	6,72
MAX (m^3/s)	36,79	27,96
MIN (m^3/s)	0,07	0,09
Río Santa Lucía - Estación 133.0 Ruta 11		
	1980 -2004	1996 -2005
PROM (m^3/s)	102,36	109,34
MAX (m^3/s)	711,15	675,38
MIN (m^3/s)	1,2	4,29

Tabla IV.1- Caudales Cuenca del Río Santa Lucía. Fuente DNH

IV.1.3 Geología

La información geológica corresponde a la Carta Geológica del Uruguay 1/500.000 (Bossi et al., 1998), elaborada por la Facultad de Agronomía (UdelaR). En la cuenca se distinguen tres grandes unidades:

- Penillanura Cristalina, al norte del río
- Planicie Platense, de acumulación sedimentaria al sur
- Serranías del este

La geología de la primera corresponde al basamento cristalino que incluye rocas graníticas y metamórficas de diferentes grados. Al Sur dominan depósitos sedimentarios y al Este, los metamorfitos epizonales de las Sierras de Minas.

IV.1.4 Hidrogeología

En la Cuenca del Río Santa Lucía las aguas subterráneas se presentan tanto en forma de acuíferos fisurados, como en medio poroso. La principal fuente de agua subterránea corresponde al Acuífero Raigón ubicado en la zona sedimentaria más al sur de la cuenca. La zona norte está principalmente determinada por acuíferos en medio fisurado, con una disponibilidad de agua menor, sobre litología principalmente granítica y metamórfica. Si bien esta zona es más vulnerable a la contaminación de acuíferos, debido a la menor actividad ganadera intensiva no presenta un riesgo importante.

IV.2 La calidad del agua del río Santa Lucía y su aptitud como fuente de agua de consumo humano

A los efectos de un diagnóstico de calidad del agua bruta de los principales cursos que conforman la Cuenca del Río Santa Lucía, se han tenido en cuenta los siguientes estudios y antecedentes principales:

- Estudio de Estado Trófico del Río Santa Lucía 2005-2011 (DINAMA)³
- Monitoreo de agua del Río Santa Lucía 2011 (DINAMA)⁴
- Informe de Situación sobre Fuentes de Contaminación Difusa en la cuenca del Río Santa Lucía (JET-DINAMA, 2010)⁵
- Informes de calidad de agua de Laboratorios Central y de Aguas Corrientes de OSE (2009-2013)

La información relevada por DINAMA y OSE, en el período 2005 a 2013, corresponde a los principales parámetros fisicoquímicos, hidrobiológicos y bacteriológicos, que permiten verificar en forma objetiva su estado de conservación y su aptitud como fuente de agua para su consumo, previo tratamiento de potabilización. Estos parámetros son relevados en forma periódica en estaciones de muestreo debidamente seleccionadas tanto en el curso principal del Río Santa Lucía como de sus afluentes más importantes, de manera de poder hacer una valoración integral del recurso y su correspondencia con condiciones naturales y asociadas a la actividad humana en la Cuenca.

La información de base referida, ha sido objeto de revisión y procesamiento estadístico detallado, con determinación de valores máximo, cuartil superior 75%, mediana y mínimo, a fin de establecer indicadores representativos objetivos del entorno de variación de cada parámetro y a partir de ellos poder establecer valoraciones de calidad aplicando indicadores y normas directivas nacionales e internacionales de aceptación universal.

³ DINAMA 2013, Monitoreo y Evaluación de Calidad de Agua Río Santa Lucía. Evolución del Estado Trófico (período 2005-2011).

⁴ DINAMA 2013, Monitoreo y Evaluación de Calidad de Agua Río Santa Lucía. Resultados del rediseño del programa (período 2011).

⁵ JET-DINAMA 2010, Informe de Situación sobre Fuentes de Contaminación Difusa en la cuenca del Río Santa Lucía.

IV.2.1 Información procesada sobre calidad del agua bruta

La nomenclatura de las estaciones de muestreo seleccionadas y su ubicación geográfica se presentan en la Figura IV.1.

En las tablas siguientes, se resumen los resultados obtenidos del procesamiento de los principales parámetros relevados por las instituciones antes referidas.

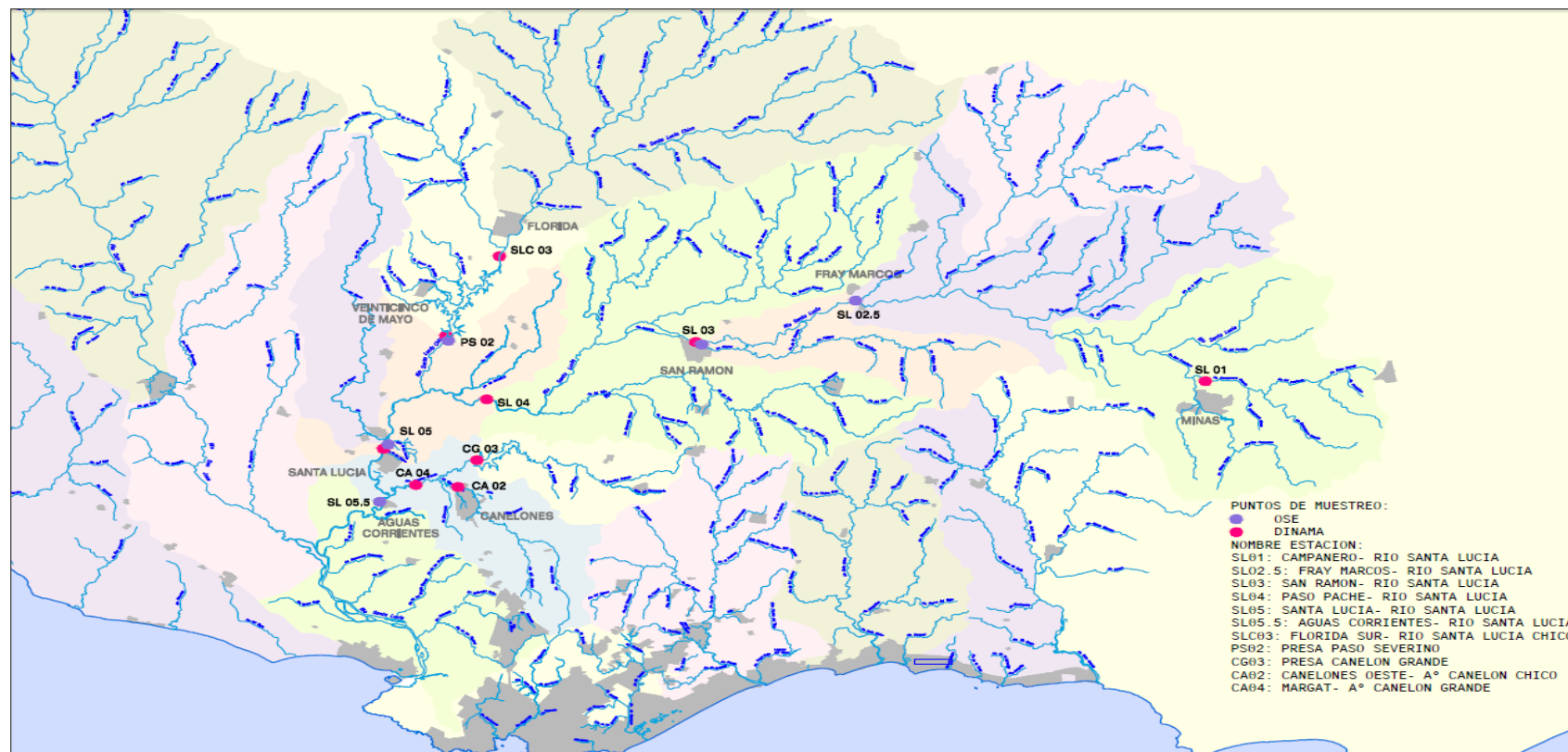


Figura IV.1. Ubicación de las estaciones de muestreo más representativas de la cuenca del río Santa Lucía

CARACTERIZACIÓN DE AGUA BRUTA EN CUENCA DEL RIO SANTA LUCÍA												
CÓDIGO ESTACION	SLO1	SLO2.5	SLO3	SLO4	SLO5	SLO5.5	SLC03	PS2	CG3	CA02	CA04	VMP UNIT 833:2008
CURSO DE AGUA	Río Sta Lucía	Río Sta Lucía	Río Sta Lucía	Río Sta Lucía	Río Sta Lucía	Río Sta Lucía	Río Sta Lucía Chico	Embalse Paso Severino	Embalse Canelón Grande	Arroyo Canelón Chico	Arroyo Canelón Grande	
NOMBRE ESTACIÓN	Campanero	Fray Marcos	San Ramón	Paso Pache	Santa Lucía	Aguas Corrientes	Cd Florida Sur	Presa	Presa	Cd Canelones Oeste	Margat	
PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS												
PARÁMETRO:	FOSFORO TOTAL (micg/l)											
Fuente info:	DINAMA	OSE	DINAMA	DINAMA	DINAMA	OSE	DINAMA	DINAMA	DINAMA	DINAMA	DINAMA	
Periodo:												
Mínimo	8	60	26	73	110	230	27	57	561	612	483	
Mediana	150	100	130	195	200	330	310	280	740	2545	959	
Máximo	634	160	591	703	735	660	911	580	847	9300	1680	
Fuente info:	OSE						OSE		OSE			
Periodo:												
Mínimo			110		240			270				
Mediana			170		280			335				
Máximo			510		590			600				
PARÁMETRO:	NITROGENO TOTAL (mg/l)						Obs: Valores DINAMA corresponden a Amonio + Nitritos + Nitratos					
Fuente info:	DINAMA	OSE	DINAMA	DINAMA	DINAMA	OSE	DINAMA	DINAMA	DINAMA	DINAMA	DINAMA	
Periodo:												
Mínimo	0.110	0.300	0.097	0.110	0.087	0.500	0.181	0.139	0.276	0.690	0.383	
Mediana	0.509	0.550	0.568	0.640	0.529	0.800	1.099	0.635	0.440	12.445	0.968	
Máximo	1.139	0.700	14.544	1.525	1.725	1.300	8.161	2.531	0.733	75.175	2.748	
Fuente info:	OSE						OSE		OSE			
Periodo:												
Mínimo			0.300		0.500			0.500				
Mediana			0.600		0.700			0.900				
Máximo			1.000		1.000			1.300				
Relación N/P (med)	3.40	5.50	4.37	3.28	2.64	2.42	3.55	2.27	0.60	4.89	1.01	
PARÁMETRO:	CLOROFILA (µg/l)											
Fuente info:	DINAMA	OSE	DINAMA	DINAMA	DINAMA	OSE	DINAMA	DINAMA	DINAMA	DINAMA	DINAMA	
Periodo:												
Mínimo	0.544		0.271	0.338	0.249		0.100	0.300	0.600			
Mediana	0.592		0.612	0.575	0.551		0.344	0.846	2.050			
Máximo	0.640		0.953	0.813	0.853		27.400	4.600	6.700			
PARÁMETRO:	DBO (mg/l)											
Fuente info:	DINAMA	OSE	DINAMA	DINAMA	DINAMA	OSE	DINAMA	DINAMA	DINAMA	DINAMA	DINAMA	
Periodo:												
Mínimo	0.9		<5	<5	<5		1.4	2.0	<5	<5	<5	
Mediana	1.9		<5	<5	<5		2.5	2.0	<5	15.0	<5	
Máximo	2.8		<5	<5	<5		12.0	2.5	<5	19.0	5.0	
PARÁMETRO:	OD (mg/l)											
Fuente info:	DINAMA	OSE	DINAMA	DINAMA	DINAMA	OSE	DINAMA	DINAMA	DINAMA	DINAMA	DINAMA	
Periodo:												
Mínimo	4.9		5.4	6.5	6.1		4.4	6.0	5.2	0.6	2.0	
Mediana	6.4		7.0	8.4	7.5		5.8	7.8	7.6	1.7	3.3	
Máximo	7.8		9.4	9.9	9.3		10.0	9.4	9.3	7.2	7.3	
PARÁMETRO:	pH											
Fuente info:	DINAMA	OSE	DINAMA	DINAMA	DINAMA	OSE	DINAMA	DINAMA	DINAMA	DINAMA	DINAMA	
Periodo:												
Mínimo	6.2		6.4	7.0	6.3		6.5	6.7	6.9	6.5	6.5	
Mediana	7.5		7.3	7.3	7.2		7.1	7.4	7.4	6.9	6.9	
Máximo	8.2		8.1	8.7	8.5		9.1	8.0	8.1	7.5	7.3	
PARÁMETRO:	ALCALINIDAD (mg/l CaCO3)											
Fuente info:	DINAMA	OSE	OSE	DINAMA	OSE	OSE	DINAMA	OSE	OSE	OSE	OSE	
Periodo:												
Mínimo	95.0	70.0	60.0		63.0	28.0	27.0	32.0	46.0	46.0	46.0	
Mediana	123.0	119.0	93.0		86.0	105.0	56.0	75.0	228.6	118.2	118.2	
Máximo	137.0	171.0	137.0		113.0	183.0	115.0	106.0	648.0	316.0	316.0	
PARÁMETRO:	CONDUCTIVIDAD (µS/cm)											
Fuente info:	DINAMA	OSE	DINAMA	DINAMA	DINAMA	OSE	DINAMA	DINAMA	DINAMA	DINAMA	DINAMA	
Periodo:												
Mínimo	206	187	178	185	153	93	181	87	126	136	127	
Mediana	264	264	233	270	299	274	324	191	289	592	311	
Máximo	382	394	350	322	334	472	447	256	304	1273	537	
PARÁMETRO:	TOC (mg/l)											
Fuente info:	OSE	OSE	OSE	DINAMA	OSE	OSE	DINAMA	OSE	DINAMA	DINAMA	DINAMA	
Periodo:												
Mínimo	2.90	3.50	3.00		4.90	4.10		4.50				
Mediana	3.20	4.90	5.30		6.80	6.37		6.85				
Cuartil 75%	3.90	6.75	9.15		8.35	8.69		7.63				
Máximo	4.60	8.60	13.00		9.90	11.00		8.40				
PARÁMETRO:	DOC (mg/l)											
Fuente info:	OSE	OSE	OSE	DINAMA	OSE	OSE	DINAMA	OSE	DINAMA	DINAMA	DINAMA	
Periodo:												
Mínimo		6.20	4.20		4.60	5.60		6.40				
Mediana		7.10	5.80		4.60	6.30		6.75				
Máximo		8.00	5.90		4.60	9.00		7.10				
PARÁMETRO:	COLOR (UC)											
Fuente info:	OSE	OSE	OSE	DINAMA	OSE	OSE	DINAMA	OSE	OSE	OSE	OSE	
Periodo:												
Mínimo	5	20	14		23	19		18	65	72	47	
Mediana	24	37	37		109	59		87	135	165	128	
Máximo	30	124	124		125	196		147	265	260	275	
PARÁMETRO:	TURBIEDAD (NTU)											
Fuente info:	OSE	OSE	OSE	DINAMA	OSE	OSE	DINAMA	OSE	OSE	OSE	OSE	
Periodo:												
Mínimo	1.7	3.7	4.1		3.2	6.2		3.4	34.0	3.8	9.6	
Mediana	2.3	9.0	17.5		31.0	20.5		20.0	75.6	42.2	54.7	
Máximo	4.8	35.0	77.0		42.0	69.0		72.0	137.0	167.0	140.0	

CARACTERIZACIÓN DE AGUA BRUTA EN CUENCA DEL RIO SANTA LUCIA												
CODIGO ESTACION	SLO1	SLO2.5	SLO3	SLO4	SLO5	SLO5.5	SLC03	PS2	CG3	CA02	CA04	
CURSO DE AGUA	Rio Sta Lucia	Rio Sta Lucia	Rio Sta Lucia	Rio Sta Lucia	Rio Sta Lucia	Rio Sta Lucia	Rio Sta Lucia Chico	Embalse Paso Severino	Embalse Canelon Grande	Arroyo Canelon Chico	Arroyo Canelon Grande	VMP UNIT 833:2008
NOMBRE ESTACION	Campanero	Fray Marcos	San Ramon	Paso Pache	Santa Lucia	Aguas Corrientes	Cd Florida Sur	Presa	Presa	Canelones Oeste	Margat	
PARÁMETROS BACTERIOLÓGICOS E HIDROBIOLÓGICOS												
PARAMETRO:	COLIFORMES (UFC/100 ml)											
Fuente info:	DINAMA	OSE	DINAMA	DINAMA	DINAMA	OSE	DINAMA	DINAMA	DINAMA	DINAMA	DINAMA	
Periodo:												
Mínimo	50		40	10	130	410			10	2000	30	AUSENCIA
Mediana	100		70	250	1600	3300			60	10300	185	
Máximo	8560		500	400	1900	24000			310	45000	470000	
PARAMETRO:	FITOPLANKTON (org/ml)											
Fuente info:	OSE	OSE	OSE	DINAMA	OSE	OSE	OSE	OSE	OSE	OSE	OSE	
Periodo:												
Mínimo	41	20	4		91	7	80	1				
Mediana	992	288	67		760	233	212	118				
Máximo	8954	5731	981		1428	23884	2889	1197				
PARAMETRO:	CIANOBACTERIAS (org/ml)											
Fuente info:	OSE	OSE	OSE	DINAMA	OSE	OSE	OSE	OSE	OSE	OSE	OSE	
Periodo:												
Mínimo	0	0	1				0	0	1			
Mediana	20	5	7				4	9	17			
Máximo	471	989	347				432	19	1177			
METALES Y TÓXICOS ORGÁNICOS												
PARAMETRO:	Fe (mg/l)											
Fuente info:	OSE	OSE	OSE	DINAMA	OSE	OSE	OSE	OSE	OSE	OSE	OSE	
Periodo:												
Mínimo		0.21	0.34			0.12	0.36	0.33	<0.06			0.3
Mediana		0.47	1.65			1.75	1.30	1.10	1.45			
Máximo		1.80	3.10			2.60	5.90	14.00	4.60			
PARAMETRO:	Mn (mg/l)											
Fuente info:	OSE	OSE	OSE	DINAMA	OSE	OSE	OSE	OSE	OSE	OSE	OSE	
Periodo:												
Mínimo		<0.03	<0.03			<0.03	<0.03	<0.03	<0.03			0.1
Mediana		0.03	0.06			0.04	0.05	0.03	<0.03			
Máximo		0.03	0.07			0.04	0.19	0.04	<0.03			
PARAMETRO:	Zn (mg/l)											
Fuente info:	OSE	OSE	OSE	DINAMA	OSE	OSE	OSE	OSE	OSE	OSE	OSE	
Periodo:												
Mínimo		<0.04	<0.04			<0.04	<0.04	<0.04	<0.04			4
Mediana		0.13	<0.04			<0.04	0.07	0.06	0.05			
Máximo		0.20	<0.04			<0.04	0.18	0.06	0.15			
PARAMETRO:	Na (mg/l)											
Fuente info:	OSE	OSE	OSE	DINAMA	OSE	OSE	OSE	OSE	OSE	OSE	OSE	
Periodo:												
Mínimo		12.00	10.00			16.00	7.90	12.00	7.20			200
Mediana		15.50	15.00			25.00	26.00	26.00	14.00			
Máximo		32.00	50.00			39.00	52.00	86.00	24.00			
PARAMETRO:	Pb (mg/l)											
Fuente info:	OSE	OSE	OSE	DINAMA	OSE	OSE	OSE	OSE	OSE	OSE	OSE	
Periodo:												
Mínimo		<0.002	<0.002			<0.002	<0.002	<0.002	<0.002			0.03
Mediana		<0.002	<0.002			<0.002	0.002	<0.002	0.003			
Máximo		<0.002	<0.002			<0.002	0.066	<0.002	0.003			
PARAMETRO:	As (mg/l)											
Fuente info:	OSE	OSE	OSE	DINAMA	OSE	OSE	OSE	OSE	OSE	OSE	OSE	
Periodo:												
Mínimo		<0.002	<0.005			<0.005	<0.005	<0.005	<0.005			0.02
Mediana		<0.002	<0.005			<0.005	<0.005	<0.005	<0.005			
Máximo		<0.002	<0.005			<0.005	<0.005	<0.005	<0.005			
PARAMETRO:	Cd (mg/l)											
Fuente info:	OSE	OSE	OSE	DINAMA	OSE	OSE	OSE	OSE	OSE	OSE	OSE	
Periodo:												
Mínimo		<0.005	<0.0004			<0.0004	<0.0004	<0.0004	0.0005			0.003
Mediana		<0.005	<0.0004			0.0007	0.0007	<0.0004	0.0005			
Máximo		<0.005	<0.0004			0.0007	0.0024	<0.0004	0.0005			
PARAMETRO:	Cr (mg/l)											
Fuente info:	OSE	OSE	OSE	DINAMA	OSE	OSE	OSE	OSE	OSE	OSE	OSE	
Periodo:												
Mínimo		<0.0004	<0.002			<0.002	<0.002	<0.002	<0.002			0.05
Mediana		<0.0004	0.0020			0.0020	0.0020	<0.002	0.0025			
Máximo		<0.0004	0.0040			0.0050	0.0060	<0.002	0.0030			
PARAMETRO:	Se (mg/l)											
Fuente info:	OSE	OSE	OSE	DINAMA	OSE	OSE	OSE	OSE	OSE	OSE	OSE	
Periodo:												
Mínimo		<0.004	<0.004			<0.004	<0.004	<0.004	<0.004			0.01
Mediana		<0.004	<0.004			<0.004	<0.004	<0.004	<0.004			
Máximo		<0.004	<0.004			<0.004	<0.004	<0.004	<0.004			
PARAMETRO:	Cu (mg/l)											
Fuente info:	OSE	OSE	OSE	DINAMA	OSE	OSE	OSE	OSE	OSE	OSE	OSE	
Periodo:												
Mínimo		<0.06	<0.06			<0.06	<0.06	<0.06	<0.06			1
Mediana		<0.06	<0.06			<0.06	<0.06	<0.06	<0.06			
Máximo		<0.06	<0.06			<0.06	<0.06	<0.06	<0.06			
PARAMETRO:	ATRAZINA ((µg/l))											
Fuente info:	OSE	OSE	OSE	DINAMA	OSE	OSE	OSE	OSE	OSE	OSE	OSE	
Periodo:												
Mínimo		ND	nd			nd	nd	nd	<0.10			3
Mediana		<0.25	<0.25			0.400	1.250	0.500	<0.10			
Máximo		<0.25	<0.25			0.400	2.400	1.400	<0.10			
PARAMETRO:	OTROS TÓXICOS ORGÁNICOS (VER LISTADO) ((µg/l))											
Fuente info:	OSE	OSE	OSE	DINAMA	OSE	OSE	OSE	OSE	OSE	OSE	OSE	
Periodo:												
Mínimo		ND	ND			ND	ND	ND	ND			VER NORMA
Mediana		ND	ND			ND	ND	ND	ND			
Máximo		ND	ND			ND	ND	ND	ND			

IV. 3 Análisis de información

Se exponen a continuación los resultados del análisis efectuado a partir de antecedentes y variables específicas medidas relacionadas con la calidad del agua y su aptitud como fuente de abastecimiento de agua potable previo tratamiento apropiado a las propias condiciones de calidad.

A estos efectos se ha estructurado el análisis siguiendo las tendencias y guías modernas de abordaje de acuerdo con las siguientes etapas:

1. Análisis del estado trófico del agua bruta del Río Santa Lucía y afluentes principales.
2. Análisis de variables de calidad del agua bruta complementarias al estado trófico para la valoración de la aptitud del agua bruta como fuente de agua para consumo humano previo tratamiento de acuerdo con referencias y guías nacionales e internacionales de reconocido prestigio.
3. Análisis especiales complementarios asociados a parámetros especiales (contenido orgánico y riesgo de formación de compuestos tóxicos asociados a la desinfección, compuestos de olor y sabor, etc.)

IV.3.1 Análisis del estado trófico

La disponibilidad de agua como fuente segura para uso humano está estrechamente ligada a la calidad de las fuentes naturales de agua. En particular la calidad de fuentes de agua superficial y su aptitud para fuente de agua de consumo, está significativamente asociada con el estado trófico de la misma y su dinámica vinculada a condiciones naturales y de actividad humana en la cuenca.

El estado trófico se define según OCDE6 (1982) como el nivel de enriquecimiento de las aguas en sustancias nutritivas que conduce, generalmente, a modificaciones sintomáticas tales como aumento de la producción de algas y otras plantas acuáticas, degradación de la pesca y deterioro de la calidad del agua y su aptitud para usos en general. Padisak⁷(2004) describe la eutroficación, como nivel avanzado de

⁶ OECD (Organization for Economic Cooperation and Development), Eutrophication of water: monitoring, assessment and control. Paris. 154p. 1982.

⁷ Phytoplankton. En *The Lake Handbook vol.1 Limnology and Limnetic Ecology*. Blackwell, Oxford.

enriquecimiento con nutrientes, principalmente fósforo y nitrógeno, que conduce al aumento del crecimiento vegetal, produciendo florecimientos algales, con riesgo de agotamiento de oxígeno, problemas de mortandad de peces, liberación de gases y/u otras sustancias tóxicas o indeseables. Naumann define el estado trófico como la respuesta biológica de ríos y lagos a la introducción de nutrientes.

De esta forma, según distintos criterios de clasificación en función de concentraciones medidas de nutrientes (fósforo y nitrógeno) y respuesta biológica (ej: clorofila), se establecen categorías de estado trófica, en la secuencia oligotrofia, mesotrofia y eutrofia, correspondiente respectivamente a concentraciones de nutrientes y productividad biológica primaria baja, media y alta.

El estado trófico está entonces determinado por múltiples circunstancias, de origen natural y/o antropogénico, asociada a fuentes puntuales y difusas de aportes de nutrientes críticos, que se conjugan con factores naturales (temperatura, hidrología, luminosidad, sólidos en suspensión, etc.) para determinar los niveles de productividad orgánica en el agua.

Las consecuencias derivadas de procesos crecientes de eutroficación son variadas, destacando lo indicado por Mason⁸ (1998):

- Disminución de diversidad de especies y modificación de la biota dominante.
- Aumento de biomasa de plantas y animales.
- Aumento de turbidez de origen orgánico.
- Aumento de tasa de sedimentación con reducción de volumen útil de lagos o embalses.
- Posibilidad de desarrollo de condiciones anóxicas.
- Perturbación de procesos de tratamiento de agua potable con incidentes de olor y sabor no aceptable y mayor costo de tratamiento, asociados a compuestos orgánicos de origen natural y/o antrópico (Geosmina, MIB, etc.)
- Riesgo de formación de sustancias tóxicas, particularmente asociadas a metabolitos algales (microcistina y otros) liberados por cianofíceas.
- Deterioro del entorno recreativo del medio acuático.
- Aumento de vegetación acuática con afectación de flujo de agua y/o navegación.
- Desaparición de fauna ictícola de interés comercial

⁸ Mason, Biology of Freshwater Pollution. Longman Ed., pag356.

En función de las consideraciones anteriores, en las principales regiones desarrolladas o en vías de desarrollo en el mundo, se han establecido criterios de calificación del estado trófico y se han incorporado reglamentos y prácticas de uso que procuran el control del aporte de cargas contaminantes en general y particularmente de nutrientes fósforo y nitrógeno, a fin de prevenir y/o limitar la distrofia de los cursos de agua.

Se resumen a continuación las principales escalas de valoración del estado trófico aceptadas internacionalmente:

IV.3.1.1 Indicadores basados en concentración de nutrientes (fósforo y nitrógeno):

La concentración de fósforo total suele ser un parámetro decisivo en el grado de eutrofización de un curso de agua (léntico o lótico), en la medida que la relación N/P sea $>$ de 10, y por tanto, el P es factor limitante en producción primaria biológica.

Se citan a continuación principales indicadores representativos basados en fósforo total:

- EPA (USA) establece tres categorías tróficas con límites intermedios en 10 y 20 $\mu\text{g/l}$ (oligo, meso y eutrofia)
- Margalef⁹, establece dos categorías tróficas y límite de 15 $\mu\text{g/l}$ (oligo y eutrofia)
- OCDE, establece cinco categorías tróficas y límites en 4, 10, 35 y 100 $\mu\text{g/l}$ (ultraoligo, oligo, meso, eutrófico e hipereutrófico)
- CETESB (Brasil), con seis categorías tróficas y límites en 13, 35, 137, 296 y 640 $\mu\text{g/l}$ (ver tabla XX en página siguiente)
- Australia y Nueva Zelanda, con cinco categorías tróficas y límites en 10, 20, 50, y 100 $\mu\text{g/l}$ (ultraoligo, oligo, meso, eutrófico e hipereutrófico)

Se citan a continuación principales indicadores representativos basados en nitrógeno total:

- CETESB (Brasil), con tres categorías tróficas y límites en 700, 1800 y 2660 $\mu\text{g/l}$ (ultra y oligotrófico, meso y eutrofia y super e hipereutrofia)
- Australia y Nueva Zelanda, con cinco categorías tróficas y límites en 200, 300, 500, y 1000 $\mu\text{g/l}$

⁹ Margalef, Limnología, Ed. Omega, Barcelona.

IV.3.1.2 Indicadores basados en fitoplancton (clorofila-a, densidad algal)

A diferencia del anterior, el fitoplancton es un indicador de respuesta trófica, y por tanto agrega a los factores originales asociados a nutrientes, condicionantes ambientales propias del curso.

Los índices principales utilizados a nivel internacional son los siguientes:

- EPA con tres categorías tróficas y límites de 3 y 20 µg/l para clorofila y 2000 y 5000 cel/ml para fitoplancton)
- OCDE, con cinco categorías tróficas y límites intermedios de 1, 2, 8 y 25 µg/l para media anual de clorofila-a y 2, 5, 8, 25 y 75 µg/l para máximo anual de clorofila-a
- Margalef, establece dos categorías tróficas con límite de 5 µg/l para clorofila-a (media anual) y 5000 cel/ml para densidad de fitoplancton
- CETESB, con seis categorías tróficas y límites intermedios de 0,74; 1,31; 2,96; 4,70 y 7,46 µg/l de clorofila-a (aplicable a ambientes lóticos y escala semejante para ambientes lénticos, ver tabla siguiente)

IV.3.1.3 Indicadores complexivos

Existen a nivel internacional indicadores integrales de estado trófico que contemplan contenidos de nutrientes y fitoplancton conjuntamente.

CETESB plantea un indicador de estado trófico integrado llamado IET, correspondiente al promedio del correspondiente valor calculado para la variable fósforo total y para la variable clorofila-a y además ajustado en su formulación para ambientes lóticos o lénticos, permitiendo así una caracterización más ajustada.

Se presenta a continuación la Tabla IV.1 de clasificación, utilizada por CETESB, y que conjuga además los valores frontera antes indicados para fósforo y clorofila-a, y agrega la clasificación de las categorías del parámetro IET complejo.

Tabela 5 - Classificação do Estado Trófico para rios segundo Índice de Carlson Modificado

Classificação do Estado Trófico - Rios				
Categoria (Estado Trófico)	Ponderação	Secchi - S (m)	P-total - P (mg.m ⁻³)	Clorofila a (mg.m ⁻³)
Ultraoligotrófico	IET ≤ 47		P ≤ 13	CL ≤ 0,74
Oligotrófico	47 < IET ≤ 52		13 < P ≤ 35	0,74 < CL ≤ 1,31
Mesotrófico	52 < IET ≤ 59		35 < P ≤ 137	1,31 < CL ≤ 2,96
Eutrófico	59 < IET ≤ 63		137 < P ≤ 296	2,96 < CL ≤ 4,70
Supereutrófico	63 < IET ≤ 67		296 < P ≤ 640	4,70 < CL ≤ 7,46
Hipereutrófico	IET > 67		640 < P	7,46 < CL

Tabela 6 - Classificação do Estado Trófico para reservatórios segundo Índice de Carlson Modificado

Classificação do Estado Trófico - Reservatórios				
Categoria (Estado Trófico)	Ponderação	Secchi - S (m)	P-total - P (mg.m ⁻³)	Clorofila a (mg.m ⁻³)
Ultraoligotrófico	IET ≤ 47	S ≥ 2,4	P ≤ 8	CL ≤ 1,17
Oligotrófico	47 < IET ≤ 52	2,4 > S ≥ 1,7	8 < P ≤ 19	1,17 < CL ≤ 3,24
Mesotrófico	52 < IET ≤ 59	1,7 > S ≥ 1,1	19 < P ≤ 52	3,24 < CL ≤ 11,03
Eutrófico	59 < IET ≤ 63	1,1 > S ≥ 0,8	52 < P ≤ 120	11,03 < CL ≤ 30,55
Supereutrófico	63 < IET ≤ 67	0,8 > S ≥ 0,6	120 < P ≤ 233	30,55 < CL ≤ 69,05
Hipereutrófico	IET > 67	0,6 > S	233 < P	69,05 < CL

A classificação do IET é apresentada na Tabela 7.

2

Tabla IV.1. Clasificación de estado trófico utilizado por CETESB

En la Tabla IV.2 se resumen los valores estadísticamente representativos (mediana, máximo y mínimo) para los tres parámetros significativos del nivel trófico, para las estaciones de monitoreo más representativas de la cuenca del Río Santa Lucía. Los datos analizados corresponden al período 2005-2012.

CARACTERIZACIÓN DE AGUA BRUTA EN CUENCA DEL RÍO SANTA LUCÍA											
CÓDIGO ESTACIÓN	SLO1	SLO2.5	SLO3	SLO4	SLO5	SLO5.5	SLC03	PS2	CG3	CA02	CA04
CURSO DE AGUA	Río Sta Lucía	Río Sta Lucía	Río Sta Lucía	Río Sta Lucía	Río Sta Lucía	Río Sta Lucía	Río Sta Lucía Chico	Embalse Paso Severino	Embalse Canelón Grande	Arroyo Canelón Chico	Arroyo Canelón Grande
NOMBRE ESTACIÓN	Campanero	Fray Marcos	San Ramón	Paso Pache	Santa Lucía	Aguas Corrientes	Cd Florida Sur	Presa	Presa	Cd Canelones Oeste	Margat
PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS											
PARÁMETRO:	FÓSFORO TOTAL (micg/l)										
Fuente info:	DINAMA	OSE	DINAMA	DINAMA	OSE		DINAMA	DINAMA	DINAMA	DINAMA	DINAMA
Período:											
Mínimo	8	60	26	73	110	230	27	57	561	612	483
Mediana	150	100	130	195	200	330	310	280	740	2545	959
Máximo	634	160	591	703	735	660	911	580	847	9300	1680
Fuente info:	OSE						OSE		OSE		
Período:											
Mínimo			110		240			270			
Mediana			170		280			335			
Máximo			510		590			600			
PARÁMETRO:	NITRÓGENO TOTAL (mg/l)						Obs: Valores DINAMA corresponden a Amonio + Nitritos + Nitratos				
Fuente info:	DINAMA	OSE	DINAMA	DINAMA	OSE		DINAMA	DINAMA	DINAMA	DINAMA	DINAMA
Período:											
Mínimo	0,110	0,300	0,097	0,110	0,087	0,500	0,181	0,139	0,276	0,690	0,383
Mediana	0,509	0,550	0,568	0,640	0,529	0,800	1,099	0,635	0,440	12,445	0,968
Máximo	1,139	0,700	14,544	1,525	1,725	1,300	8,161	2,531	0,733	75,175	2,748
Fuente info:	OSE						OSE		OSE		
Período:											
Mínimo			0,300		0,500			0,500			
Mediana			0,600		0,700			0,900			
Máximo			1,000		1,000			1,300			
Relación N/P (med)	3,40	5,50	4,37	3,28	2,64	2,42	3,55	2,27	0,60	4,89	1,01
PARÁMETRO:	CLOROFILA (µg/l)										
Fuente info:	DINAMA	OSE	DINAMA	DINAMA	OSE		DINAMA	DINAMA	DINAMA	DINAMA	DINAMA
Período:											
Mínimo	0,544		0,271	0,338	0,249		0,100	0,300	0,600		
Mediana	0,592		0,612	0,575	0,551		0,344	0,846	2,050		
Máximo	0,640		0,953	0,813	0,853		27,400	4,600	6,700		
PARÁMETRO:	FITOPLANKTON (org/ml)										
Fuente info:	OSE	OSE	OSE	DINAMA	OSE	OSE	OSE	OSE			
Período:											
Mínimo	41	20	4		91	7	80	1			
Mediana	992	288	67		760	233	212	118			
Máximo	8954	5731	981		1428	23884	2889	1197			

Tabla IV.2. Caracterización del agua bruta de la Cuenca del río Santa Lucía. Parámetros representativos del nivel trófico. Período 2005-2012.

Realizada la evaluación del estado trófico de las distintas estaciones de la Cuenca, para los parámetros característicos valorados estadísticamente, en formato de concentraciones independientes del parámetro, se presentan los siguientes comentarios:

- Las concentraciones de fósforo consideradas en forma independiente, con medianas en el rango de 100 a 330 µg/l en cursos principales (Santa Lucía Gde y Chico), determinan valoraciones de estado eutrófico significativo (eutrofia a hipertrofia según el indicador a usar).
- Las concentraciones de nitrógeno total, con medianas en el rango de 500 a 1100 µg/l, se corresponden con valores intermedios asociados a mesotrofia.
- La relación N/P en el entorno de 3, indican claramente que el nutriente limitante es el nitrógeno total y no el fósforo (Lamparelli¹⁰ 2004). En efecto, considerando valores de mediana de nitrógeno total medidos del orden de 800 µg/l, y relación límite N/P=10, a partir de la cual opera el fósforo como controlante, se considera que para un nivel de nitrógeno total dado (800 µg/l), valores de fósforo por encima de 80 µg/l no generan incrementos significativos de productividad biológica primaria. Este factor limitante se agrega a niveles de turbiedad de origen inorgánico intermedios a altos (20 NTU), que reducen la zona eufótica donde prospera la producción de biomasa. Esta observación coloca en un plano secundario la valoración del fósforo como indicativo de estado trófico, privilegiando el uso del nitrógeno y parámetros directos como clorofila-a y fitoplancton como referentes de primer orden en la determinación de estado trófico.
- Las concentraciones de clorofila-a consideradas en forma independiente, con medianas en el rango de 0,51 a 1,22 µg/l, se corresponde con valoraciones de oligotrofia o incipiente mesotrofia, siendo esta constatación consecuente con la valoración del nitrógeno total como nutriente controlante efectuada en numeral anterior.
- Las concentraciones de fitoplancton con medianas que no superan los 800 org/ml se asocian a condiciones de oligotrofia.

Además de la valoración de estado trófico a partir de consideración de parámetros representativos en forma independiente, se ha procedido a estimar el indicador complejo IET propuesto por CETESB, para las distintas estaciones de monitoreo y considerando valores de parámetros correspondientes al período 2005-2012.

¹⁰ Laparelli, Graus de Trofia em corpos de água do Estado de São Paulo: Avaliação dos métodos de monitoramento. Tese de Doutorado.

El resumen de las determinaciones se presenta en la Tabla IV.3.

INDICADORES DE CALIDAD DE AGUA SEGÚN CETESB

CÓDIGO ESTACIÓN	SLO1	SLO2.5	SLO3	SLO4	SLO5	SLO5.5	SLC03	PS2	CG3	CA02	CA04
CURSO DE AGUA	Río Sta Lucía	Río Sta Lucía	Río Sta Lucía	Río Sta Lucía	Río Sta Lucía	Río Sta Lucía	Río Sta Lucía Chico	Embalse Paso Severino	Embalse Canelón Grande	Arroyo Canelón Chico	Arroyo Canelón Grande
NOMBRE ESTACIÓN	Campanero	Fray Marcos	San Ramón	Paso Pache	Santa Lucía	Aguas Corrientes	Cd Florida Sur	Presa	Presa	Cd Canelones Oeste	Margat

ÍNDICE DE ESTADO TRÓFICO (IET)																																																																																																																																																											
INDICADOR: Fórmula:	IET																																																																																																																																																										
	- Ríos IET (CL) = 10x(6-((-0,7-0,6x(ln CL))/ln 2))-20; IET (PT) = 10x(6-((0,42-0,36x(ln PT))/ln 2))-20 - Embalses IET (CL) = 10x(6-((0,92-0,34x(ln CL))/ln 2)); IET (PT) = 10x(6-(1,77-0,42x(ln PT)/ln 2)) - IET = [IET (PT) + IET (CL)] / 2 Siendo: PT (fósforo total), CL (clorofila), ambas en microgramos por litro.																																																																																																																																																										
<table><tr><th colspan="12">Tabla 5 - Clasificación del Estado Trófico para ríos segundo Índice de Carlson Modificado</th></tr><tr><th colspan="5">Clasificación del Estado Trófico - Ríos</th></tr><tr><th>Categoría (Estado Trófico)</th><th>Ponderación</th><th>Secchi - S (m)</th><th>P-total - P (mg/m³)</th><th>Clorofila a (mg/m³)</th></tr><tr><td>Ultraoligotrófico</td><td>IET ≤ 47</td><td>P ≤ 13</td><td>CL ≤ 0,74</td></tr><tr><td>Oligotrófico</td><td>47 < IET ≤ 52</td><td>13 < P ≤ 25</td><td>0,74 < CL ≤ 1,31</td></tr><tr><td>Mesotrófico</td><td>52 < IET ≤ 59</td><td>25 < P ≤ 137</td><td>1,31 < CL ≤ 2,96</td></tr><tr><td>Eutrofico</td><td>59 < IET ≤ 63</td><td>137 < P ≤ 296</td><td>2,96 < CL ≤ 4,70</td></tr><tr><td>Supereutrofico</td><td>63 < IET ≤ 67</td><td>296 < P ≤ 640</td><td>4,70 < CL ≤ 7,46</td></tr><tr><td>Hipereutrofico</td><td>IET > 67</td><td>640 < P</td><td>7,46 < CL</td></tr></table> <table><tr><th colspan="12">Tabla 6 - Clasificación del Estado Trófico para reservorios segundo Índice de Carlson Modificado</th></tr><tr><th colspan="5">Clasificación del Estado Trófico - Reservorios</th></tr><tr><th>Categoría (Estado Trófico)</th><th>Ponderación</th><th>Secchi - S (m)</th><th>P-total - P (mg/m³)</th><th>Clorofila a (mg/m³)</th></tr><tr><td>Ultraoligotrófico</td><td>IET ≤ 47</td><td>S ≥ 2,4</td><td>P ≤ 8</td><td>CL ≤ 1,17</td></tr><tr><td>Oligotrófico</td><td>47 < IET ≤ 52</td><td>2,4 < S ≤ 1,7</td><td>8 < P ≤ 19</td><td>1,17 < CL ≤ 3,24</td></tr><tr><td>Mesotrófico</td><td>52 < IET ≤ 59</td><td>1,7 < S ≤ 1,1</td><td>19 < P ≤ 32</td><td>3,24 < CL ≤ 11,03</td></tr><tr><td>Eutrofico</td><td>59 < IET ≤ 63</td><td>1,1 < S ≤ 0,8</td><td>32 < P ≤ 120</td><td>11,03 < CL ≤ 30,55</td></tr><tr><td>Supereutrofico</td><td>63 < IET ≤ 67</td><td>0,8 < S ≤ 0,6</td><td>120 < P ≤ 233</td><td>30,55 < CL ≤ 69,05</td></tr><tr><td>Hipereutrofico</td><td>IET > 67</td><td>0,6 > S</td><td>233 < P</td><td>69,05 < CL</td></tr></table> A clasificación del IET se presenta en la Tabla 7.												Tabla 5 - Clasificación del Estado Trófico para ríos segundo Índice de Carlson Modificado												Clasificación del Estado Trófico - Ríos					Categoría (Estado Trófico)	Ponderación	Secchi - S (m)	P-total - P (mg/m³)	Clorofila a (mg/m³)	Ultraoligotrófico	IET ≤ 47	P ≤ 13	CL ≤ 0,74	Oligotrófico	47 < IET ≤ 52	13 < P ≤ 25	0,74 < CL ≤ 1,31	Mesotrófico	52 < IET ≤ 59	25 < P ≤ 137	1,31 < CL ≤ 2,96	Eutrofico	59 < IET ≤ 63	137 < P ≤ 296	2,96 < CL ≤ 4,70	Supereutrofico	63 < IET ≤ 67	296 < P ≤ 640	4,70 < CL ≤ 7,46	Hipereutrofico	IET > 67	640 < P	7,46 < CL	Tabla 6 - Clasificación del Estado Trófico para reservorios segundo Índice de Carlson Modificado												Clasificación del Estado Trófico - Reservorios					Categoría (Estado Trófico)	Ponderación	Secchi - S (m)	P-total - P (mg/m³)	Clorofila a (mg/m³)	Ultraoligotrófico	IET ≤ 47	S ≥ 2,4	P ≤ 8	CL ≤ 1,17	Oligotrófico	47 < IET ≤ 52	2,4 < S ≤ 1,7	8 < P ≤ 19	1,17 < CL ≤ 3,24	Mesotrófico	52 < IET ≤ 59	1,7 < S ≤ 1,1	19 < P ≤ 32	3,24 < CL ≤ 11,03	Eutrofico	59 < IET ≤ 63	1,1 < S ≤ 0,8	32 < P ≤ 120	11,03 < CL ≤ 30,55	Supereutrofico	63 < IET ≤ 67	0,8 < S ≤ 0,6	120 < P ≤ 233	30,55 < CL ≤ 69,05	Hipereutrofico	IET > 67	0,6 > S	233 < P	69,05 < CL																																														
Tabla 5 - Clasificación del Estado Trófico para ríos segundo Índice de Carlson Modificado																																																																																																																																																											
Clasificación del Estado Trófico - Ríos																																																																																																																																																											
Categoría (Estado Trófico)	Ponderación	Secchi - S (m)	P-total - P (mg/m³)	Clorofila a (mg/m³)																																																																																																																																																							
Ultraoligotrófico	IET ≤ 47	P ≤ 13	CL ≤ 0,74																																																																																																																																																								
Oligotrófico	47 < IET ≤ 52	13 < P ≤ 25	0,74 < CL ≤ 1,31																																																																																																																																																								
Mesotrófico	52 < IET ≤ 59	25 < P ≤ 137	1,31 < CL ≤ 2,96																																																																																																																																																								
Eutrofico	59 < IET ≤ 63	137 < P ≤ 296	2,96 < CL ≤ 4,70																																																																																																																																																								
Supereutrofico	63 < IET ≤ 67	296 < P ≤ 640	4,70 < CL ≤ 7,46																																																																																																																																																								
Hipereutrofico	IET > 67	640 < P	7,46 < CL																																																																																																																																																								
Tabla 6 - Clasificación del Estado Trófico para reservorios segundo Índice de Carlson Modificado																																																																																																																																																											
Clasificación del Estado Trófico - Reservorios																																																																																																																																																											
Categoría (Estado Trófico)	Ponderación	Secchi - S (m)	P-total - P (mg/m³)	Clorofila a (mg/m³)																																																																																																																																																							
Ultraoligotrófico	IET ≤ 47	S ≥ 2,4	P ≤ 8	CL ≤ 1,17																																																																																																																																																							
Oligotrófico	47 < IET ≤ 52	2,4 < S ≤ 1,7	8 < P ≤ 19	1,17 < CL ≤ 3,24																																																																																																																																																							
Mesotrófico	52 < IET ≤ 59	1,7 < S ≤ 1,1	19 < P ≤ 32	3,24 < CL ≤ 11,03																																																																																																																																																							
Eutrofico	59 < IET ≤ 63	1,1 < S ≤ 0,8	32 < P ≤ 120	11,03 < CL ≤ 30,55																																																																																																																																																							
Supereutrofico	63 < IET ≤ 67	0,8 < S ≤ 0,6	120 < P ≤ 233	30,55 < CL ≤ 69,05																																																																																																																																																							
Hipereutrofico	IET > 67	0,6 > S	233 < P	69,05 < CL																																																																																																																																																							
<table><tr><th colspan="12">IET (PT)</th></tr><tr><td>Minimo</td><td>44,6</td><td>55,2</td><td>50,9</td><td>56,2</td><td>58,4</td><td>62,2</td><td>51,1</td><td>54,9</td><td>66,8</td><td>67,3</td><td>66,0</td></tr><tr><td>Mediana</td><td>59,9</td><td>57,9</td><td>59,2</td><td>61,3</td><td>61,5</td><td>64,1</td><td>63,7</td><td>63,2</td><td>68,3</td><td>74,7</td><td>69,6</td></tr><tr><td>Máximo</td><td>67,5</td><td>60,3</td><td>67,1</td><td>68,0</td><td>68,2</td><td>67,7</td><td>69,3</td><td>67,0</td><td>69,0</td><td>81,4</td><td>72,5</td></tr></table> <table><tr><th colspan="12">IET (CL)</th></tr><tr><td>Minimo</td><td>44,8</td><td>38,8</td><td>38,8</td><td>40,7</td><td>38,1</td><td>38,1</td><td>30,2</td><td>40,8</td><td>44,2</td><td></td><td></td></tr><tr><td>Mediana</td><td>45,6</td><td>45,8</td><td>45,8</td><td>45,3</td><td>44,9</td><td>44,9</td><td>40,8</td><td>45,9</td><td>50,2</td><td></td><td></td></tr><tr><td>Máximo</td><td>46,2</td><td>49,7</td><td>49,7</td><td>48,3</td><td>48,7</td><td>48,7</td><td>78,8</td><td>54,2</td><td>56,1</td><td></td><td></td></tr></table> <table><tr><th colspan="12">IET (MEDIA)</th></tr><tr><td>Minimo</td><td>44,7</td><td>47,00</td><td>44,8</td><td>48,5</td><td>48,2</td><td>50,1</td><td>40,6</td><td>47,9</td><td>55,5</td><td></td><td></td></tr><tr><td>Mediana</td><td>52,8</td><td>51,85</td><td>52,5</td><td>53,3</td><td>53,2</td><td>54,5</td><td>52,3</td><td>54,6</td><td>59,3</td><td></td><td></td></tr><tr><td>Máximo</td><td>56,8</td><td>54,99</td><td>58,4</td><td>58,1</td><td>58,5</td><td>58,2</td><td>74,0</td><td>60,6</td><td>62,5</td><td></td><td></td></tr></table>												IET (PT)												Minimo	44,6	55,2	50,9	56,2	58,4	62,2	51,1	54,9	66,8	67,3	66,0	Mediana	59,9	57,9	59,2	61,3	61,5	64,1	63,7	63,2	68,3	74,7	69,6	Máximo	67,5	60,3	67,1	68,0	68,2	67,7	69,3	67,0	69,0	81,4	72,5	IET (CL)												Minimo	44,8	38,8	38,8	40,7	38,1	38,1	30,2	40,8	44,2			Mediana	45,6	45,8	45,8	45,3	44,9	44,9	40,8	45,9	50,2			Máximo	46,2	49,7	49,7	48,3	48,7	48,7	78,8	54,2	56,1			IET (MEDIA)												Minimo	44,7	47,00	44,8	48,5	48,2	50,1	40,6	47,9	55,5			Mediana	52,8	51,85	52,5	53,3	53,2	54,5	52,3	54,6	59,3			Máximo	56,8	54,99	58,4	58,1	58,5	58,2	74,0	60,6	62,5		
IET (PT)																																																																																																																																																											
Minimo	44,6	55,2	50,9	56,2	58,4	62,2	51,1	54,9	66,8	67,3	66,0																																																																																																																																																
Mediana	59,9	57,9	59,2	61,3	61,5	64,1	63,7	63,2	68,3	74,7	69,6																																																																																																																																																
Máximo	67,5	60,3	67,1	68,0	68,2	67,7	69,3	67,0	69,0	81,4	72,5																																																																																																																																																
IET (CL)																																																																																																																																																											
Minimo	44,8	38,8	38,8	40,7	38,1	38,1	30,2	40,8	44,2																																																																																																																																																		
Mediana	45,6	45,8	45,8	45,3	44,9	44,9	40,8	45,9	50,2																																																																																																																																																		
Máximo	46,2	49,7	49,7	48,3	48,7	48,7	78,8	54,2	56,1																																																																																																																																																		
IET (MEDIA)																																																																																																																																																											
Minimo	44,7	47,00	44,8	48,5	48,2	50,1	40,6	47,9	55,5																																																																																																																																																		
Mediana	52,8	51,85	52,5	53,3	53,2	54,5	52,3	54,6	59,3																																																																																																																																																		
Máximo	56,8	54,99	58,4	58,1	58,5	58,2	74,0	60,6	62,5																																																																																																																																																		

Tabla IV.3. Índice de estado trófico en puntos de muestreo de la Cuenca

Las conclusiones son semejantes a las obtenidas mediante el análisis por variables independientes y en su formato complejo final, nos indica un **estado de Mesotrofia como característico de las principales estaciones, con ligero incremento del nivel trófico desde aguas arriba hacia aguas abajo.**

La observación ya efectuada del carácter no controlante del fósforo dado la relación N/P=3 y muy por debajo del cociente característico N/P=10, modera la calificación trófica asociada al fósforo.

En definitiva, el estado trófico actual, particularmente del Río Santa Lucía en Aguas Corrientes, así como de las aguas del embalse de Paso Severino (ambos

componentes fundamentales del Sistema de Abastecimiento del Área Metropolitana de Montevideo), pueden considerarse en un estado de eutrofia moderado, calificable según los distintos indicadores reseñados como Mesotrofia, y asociado con productividades primarias biológicas intermedias a reducidas. Esta condición trófica se considera uno de los fundamentos necesarios para confirmar la aptitud de la calidad del agua natural para potabilización mediante métodos convencionales de clarificación y tratamiento e instalaciones complementarias para tratamientos avanzados para episodios extraordinarios.

Sobre las aguas del embalse de Canelón Grande, si bien se registran condiciones de eutrofia significativa de considerarse la concentración de fósforo, caben similares reflexiones a las expresadas respecto del curso principal, en el sentido de que el nutriente limitante de la productividad biológica es el nitrógeno. En efecto también aquí, los valores de clorofila en el entorno de $2\mu\text{g/l}$ y nitrógeno total medio de $900\mu\text{g/l}$, permitirían calificar el estado trófico de este embalse en condiciones de mesotrofia. Esta condición, permite valorar las aguas del embalse de Canelón Grande como de menor calidad que la observada en el Río Santa Lucía Grande y Chico, no obstante con aptitud primaria, atendiendo a su estado trófico como para fuente de agua secundaria al Sistema.

IV.3.2 Condiciones complementarias de aptitud como fuente de agua de consumo

En el subcapítulo anterior fue evaluado el estado trófico de las aguas de cursos principales de la cuenca del Río Santa Lucía, habiéndose concluido en la calificación de un estado de mesotrofia compatible con condiciones de moderada productividad biológica primaria y por tanto de afectación limitada en cuanto al uso del agua como fuente de consumo, previo tratamiento convencional adecuado.

Para la confirmación efectiva de la aptitud a los efectos de uso antes señalado, es necesario complementar las consideraciones efectuadas en cuanto a estado trófico con un análisis de un conjunto de parámetro fisicoquímicos y bacteriológicos. La práctica aceptada a nivel universal, orienta a establecer guías o directrices, donde se clasifican las aguas naturales superficiales según determinados límites en la concentración de parámetros relevantes, en categorías que se asocian a niveles mínimos de tratamiento asociados a cada categoría.

En efecto, se hace referencia a continuación a las siguientes referencias o directrices nacionales e internacionales, a utilizar para evaluar inequívocamente la aptitud de la

fuentes de agua bruta en estudio para fines de potabilización y posterior abastecimiento humano:

- URUGUAY-DINAMA (Decreto 253-79), normativa nacional en cuanto a clasificación de cursos de agua en función de su uso
- UNIÓN EUROPEA (Directiva CEE 75-440), donde se establecen las condiciones a las que se deben ajustar las calidades de aguas superficiales en función de uso y tratamiento de potabilización asociado
- BRASIL (Resolución CONAMA 357-2005) que establece en forma análoga a los anteriores casos, criterios de clasificación de cursos de agua y tratamientos asociados
- Se agrega luego un análisis de indicadores utilizados por CETESB (Secretaría do Meio Ambiente de San Pablo): IQA (Índice de Calidad de Agua) e IAP (Índice de Aptitud de Agua para Consumo)

IV.3.2.1 URUGUAY-DINAMA

A nivel nacional, existe un marco normativo (Decreto 253/79) donde se establecen categorías para los cursos de agua superficiales, con límites máximos de concentración para sustancias más representativas asociadas a la calidad del agua de los cursos superficiales. En particular dicha norma establece para la clase 1 que regula las condiciones de la calidad natural del agua en cursos superficiales con destino preferente al abastecimiento de agua un conjunto de parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos, donde se destacan los siguientes parámetros principales:

- Oxígeno Disuelto (mg/l): > 5 mg/l
- DBO (mg/l): < 5 mg/l
- Fósforo total (mg/l): < 0,025 mg/l en P
- Amoníaco libre (mg/l): < 0,02 mg/l en N
- Nitratos (mg/l): < 10 mg/l en N
- Coliformes fecales (u/100 ml) < 1000 (media geométrica de 5 muestras) y < 2000 cualquiera de las muestras

Se ha procedido a evaluar el cumplimiento de parámetros objetivo a partir de los datos que arroja el resumen de parámetros procesados y presentados en capítulo 3.1 anterior.

En la Tabla IV.4 se ilustra un comparativo de los principales parámetros.

Parámetro	Mediana AACC (SL5.5)	Máximo AACC (SL5.5)	Decreto 253/79 (Clase 1)
Oxígeno Disuelto (mg/l)	7,5	6,5	>5
DBO5 (mg/l)	<5	<5	<5
Nitratos (mg/l)	<1	<1	<10
Fósforo total (µg/l)	330	660	<25
Amoníaco libre (µg/l)	<20	<20	<20
Coliformes Fecales (u/100 ml)	3300	24000	<1000
Metales varios	< VMA (valor máximo admisible)	<VMA	VMA (ver Norma)

Tabla IV.4. Comparación de parámetros en punto de muestreo SL5.5 (Aguas Corrientes) con Decreto 253/79

Del análisis comparado se observa el cumplimiento de prácticamente la totalidad de los valores máximos admisibles con la excepción del contenido de fósforo y en forma moderada la calidad bacteriológica (los valores se encuentran dentro del orden logarítmico admisible).

Corresponde considerar a los efectos de la ponderación del valor fósforo observado, su significación ambiental asociada a la evaluación del estado trófico de las aguas. Como fuera mencionado en el punto anterior, la concentración relativamente alta de fósforo no se corresponde con indicadores de productividad primaria (clorofila-A, fitoplankton) elevados, lo cual, si bien debe ser motivo de seguimiento y control, no configura necesariamente un riesgo directo asociado. El fósforo por otra parte, no constituye un tóxico en sí mismo, y es removido en los procesos fisicoquímicos desarrollados con la potabilización por precipitación química como ortofosfato usando sales metálicas como coagulante.

La concentración de Coliformes Fecales en condiciones de mediana y máximo absoluto superan en 1 y hasta dos órdenes el máximo establecido. Esta transgresión, si bien moderada, debería poder controlarse con factores varios: calidad bacteriológica de descargas puntuales (particularmente en la cuenca inmediata de la Cuenca del Arroyo Canelón Grande), que registran órdenes significativos de carga bacteriológica. En efecto, se han registrado concentraciones de Coliformes Fecales 10 a 100 veces superiores en la descarga del Arroyo Canelón Grande, que están incidiendo en el desmejoramiento de la calidad bacteriológica del cuerpo principal, siendo este factor relativamente simple de corregir una vez se ajusten condiciones de control y desinfección en fuentes puntuales en la cuenca del mencionado curso de agua.

Como segunda barrera de control, la planta potabilizadora cuenta además con instalaciones y herramientas para una desinfección inicial que permita operar con niveles controlados de carga bacteriológica.

IV.3.2.2 UNION EUROPEA (DIRECTIVA 75/440/CEE)

La Unión Europea establece para sus países integrantes condiciones de calidad límites para cursos de agua superficiales y niveles de tratamiento mínimo asociado para asegurar su uso seguro por la población.

La mencionada directiva, establece criterios de calidad para la Categoría A2, correspondiente a aguas superficiales a ser tratadas mediante procesos fisicoquímicos convencionales de (coagulación, floculación, decantación, filtración y desinfección).

Se destaca el siguiente análisis comparado de parámetros principales de aguas del Río Santa Lucía en Aguas Corrientes en la Estación 5.5 y los valores máximos admisibles.

Parámetro	Mediana AC (SL5.5)	Máxima AC (SL5.5)	DIRECTIVA 75/440/CEE (Clase A2)	DIRECTIVA 75/440/CEE (Clase A3)
Oxígeno disuelto (% saturación)	75%	65%	>50% (G)	>30% (G)
DBO ₅ (mg/l)	<5	<5	<5 (G)	<7 (G)
Nitrógeno Kjeldahl (mg/l)	<1	1,3	<2 (G)	<3 (G)
Fósforo total (µg/l)	330	660	<700 (G)	700 (G)

Amoníaco libre (µg/l)	<20	<20	<1500 (I)	2 (G)
Coliformes Fecales (u/100 ml)	3300	24000	<2000 (G)	20000 (G)
Metales varios, plaguicidas varios, tóxicos orgánicos varios	< VMA (valor máximo admisible)	< VMA		
Nitratos (mg/l)	<1	<1	<50 (I)	<50
Conductividad (µS/cm)	270	470	<1000	<1000

Nota: (I) Valor imperativo; (G) Valor Guía

Tabla IV.5. Comparación de parámetros en punto de muestreo SL5.5 (Aguas Corrientes) con Directiva 75/440/CEE

La categoría A2 se corresponde con tratamientos convencionales con clarificación química, filtración y desinfección. La categoría A3, agrega a los procesos señalados en A2, cloración al break-point, adsorción (carbón activado), y desinfección química (cloro, ozono o semejantes).

La valoración comparada permite verificar el cumplimiento de los parámetros promovidos por la norma europea. Obsérvese que en este caso, el valor de fósforo aún para el máximo absoluto se encuentra por debajo del valor guía límite aceptable para ambas clases. Para el caso de los Coliformes Fecales en condiciones de máxima, se está en el mismo orden del admisible de clase A3, no obstante valen las reflexiones anotadas en la referencia hecha en ocasión del análisis de la norma nacional uruguaya.

IV.3.2.3 BRASIL-CONAMA 357-2005 y CETESB

La mencionada directiva, establece fuerte analogía con la norma nacional uruguaya, definiendo criterios de calidad para la Categoría 2, correspondiente a aguas superficiales a ser tratadas mediante procesos fisicoquímicos convencionales de coagulación, floculación, decantación, filtración y desinfección. La mencionada norma agrega a los parámetros de la norma nacional uruguaya, algunos parámetros complementarios interesantes a saber: Clorofila-a; densidad de cianobacterias; etc.

Se destaca el siguiente análisis comparado de parámetros principales de aguas del Río Santa Lucía en Aguas Corrientes (Estación 5.5) y los valores de categoría 2 máximos admisibles.

Parámetro	Mediana AACC (SL5.5)	Máximo AACC	CONAMA 357 (Clase 2)	CONAMA 357 (Clase 3)
Oxígeno disuelto (mg/l)	7,5	6,5	>5	>4
DBO ₅ (mg/l)	<5	<5	<5	<10
Nitrógeno amoniacal (mg/l)	<1	<1	<2 (para ph<8,00)	<2,2 (para ph < 8,00)
Fósforo total (µg/l)	330	660	<100	<150
Clorofila-a (µg/l)	<0,55	<0,85	<30	<60
Coliformes Fecales (u/100 ml)	3300	24000	<1000	<4000
Cianobacterias (cel/ml)	<1000	<1000	<50000	<100.000
Metales varios, plaguicidas varios, tóxicos orgánicos varios	< VMA (valor máximo admisible)	< VMA		
Nitratos (mg/l)	<1	<1	<10	<10

Tabla IV.5. Comparación de parámetros en punto de muestreo SL5.5 (Aguas Corrientes) con Directiva CONAMA 357

La norma indicada establece la referencia de aptitud para abastecimiento humano, previo tratamiento convencional para Clase 2 y tratamiento convencional/avanzado para Clase 3.

La valoración comparada permite verificar nuevamente el cumplimiento de los parámetros promovidos por la norma brasileña con excepción nuevamente de los parámetros fósforo y coliformes fecales, cuyos valores guía son superados en la mediana de valores medidos en la estación de Aguas Corrientes, aunque para límites

admisibles superiores a los de la norma uruguaya. Cabe resaltar lo señalado expresamente en la norma mencionada (Artículo 10), donde se establece por un lado la posibilidad de aceptar valores de nutrientes superiores a lo establecido como guía, en la medida que no se generen perjuicios en los usos previstos para el agua de la categoría en cuestión. Señala además para la Clase 2, la limitación del valor de nitrógeno total en 2,18 mg/l para ambientes lóticos, cuando este sea el nutriente limitante del proceso de eutroficación, como es el caso presente (valor máximo 1,3 mg/l en Aguas Corrientes).

A las consideraciones de la norma anterior se ha agregado el análisis de los siguientes indicadores promovidos por la CETESB:

- IQA- Indicador de calidad del agua para la vida acuática, que integra valoración de los siguientes parámetros: oxígeno disuelto, DBO, ph, temperatura, nitrógeno total, fósforo total, turbidez, sólidos totales y coliformes termotolerantes
- IAP- Indicador de calidad de agua bruta para fines de abastecimiento público, que integra parámetros asociados a presencias de sustancias tóxicas (PFTHM, cianobacterias, cadmio, plomo, cromo total, mercurio y níquel); parámetros asociados a calidad organoléptica (hierro disuelto, manganeso, aluminio disuelto, cobre disuelto y zinc). La valoración de los parámetros anteriores aplica sobre coeficiente calculado para el IQA, por lo que debe considerarse al IAP un indicador integral y complejo

La aplicación de la metodología de cálculo de tales indicadores al caso de la Cuenca del Río Santa Lucía se resume en las siguientes tablas.

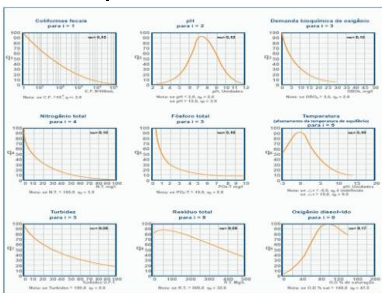
INDICE DE CALIDAD DE AGUA (IQA)												
CÓDIGO ESTACIÓN	SLO1	SLO2.5	SLO3	SLO4	SLO5	SLO5.5	SLC03	PS2	CG3	CA02	CA04	
CURSO DE AGUA	Río Sta Lucía	Río Sta Lucía	Río Sta Lucía	Río Sta Lucía	Río Sta Lucía	Río Sta Lucía	Río Sta Lucía Chico	Embalse Paso Severino	Embalse Canelón Grande	Arroyo Canelón Chico	Arroyo Canelón Grande	
NOMBRE ESTACIÓN	Campanero	Fray Marcos	San Ramón	Paso Pache	Santa Lucía	Aguas Corrientes	Cd Florida Sur	Presa	Presa	Cd Canelón es Oeste	Margat	
INDICADOR: Fórmula:	IQA $IQA = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i}$ 						IQA 80-100 52-79 37-51 20-36 0-19 CALIDAD AGUA ÓPTIMA BUENA RAZONABLE MALA PÉSIMA					
IQA												
IQA MÍNIMA	54	54	54		50	49		51	56	36	50	
IQA MEDIANA	62	58	57		47	45		45	51	25	47	
IQA CUARTIL 75%	56	54	51		44	42		42	47	23	41	
IQA MÁXIMO	44	49	42		41	37		37	41	16	26	

Tabla IV.6. Índice de calidad de agua (IQA) en puntos de la Cuenca. Datos período 2005-2012

INDICE DE APTITUD ABASTECIMIENTO AGUA POTABLE (IAP)											
CÓDIGO ESTACIÓN	SLO1	SLO2.5	SLO3	SLO4	SLO5	SLO5.5	SLC03	PS2	CG3	CA02	CA04
CURSO DE AGUA	Río Sta Lucía	Río Sta Lucía	Río Sta Lucía	Río Sta Lucía	Río Sta Lucía	Río Sta Lucía	Río Sta Lucía Chico	Embalse Paso Severino	Embalse Canelón Grande	Arroyo Canelón Chico	Arroyo Canelón Grande
NOMBRE ESTACIÓN	Campanero	Fray Marcos	San Ramón	Paso Pache	Santa Lucía	Aguas Corrientes	Cd Florida Sur	Presa	Presa	Cd Canelón es Oeste	Margat
INDICADOR: Fórmula:	IAP						Límites superior e inferior LS y LI para estimación de indicadores				
							Parámetro		Unidad	Limf	LS
	ST=MÍN1 (QTe,Qpftm,Qcd,Qpb,Qni,Qhg,Qncc)xMÍN2 (QTe,Qpftm,Qcd,Qpb,Qni,Qhg,Qncc) A) ST=MÍN1 (QTe,Qpftm,Qcd,Qpb,Qni,Qhg,Qncc)xMÍN2 (QTe,Qpftm,Qcd,Qpb,Qni,Qhg,Qncc); B) SO=PROMEDIO (Qal,Qcu,Qzn,Qfe,Qmn) IAP=IQA X ST X SO						Cadmio		mg/l	0,005	0,01
							Plomo		mg/l	0,01	0,033
							Cromo		mg/l	0,05	0,059
							Níquel		mg/l	0,02	0,025
							Mercurio		mg/l	0,001	0,002
							PFTM (TOC equiv)		micro g/l	9,85	12,31
							Aluminio Dis		mg/l	0,20	2,00
							Cobre		mg/l	2,00	8,00
Hierro Total (30% disuelto)							mg/l	0,43	16,67		
Manganeso		mg/l	0,10	0,50							
Zinc		mg/l	5,00	5,90							
IAP MEDIANA	62	58	54		44	43		43			
IAP CUARTIL 75%	56	54	49		43	40		40			
IAP VALORES MÁXIMOS	44	48	17		40	26		36			

Tabla IV.6. Índice de aptitud para abastecimiento de agua potable (IAP) en puntos de la Cuenca. Datos período 2005-2012

Se concluye del mencionado análisis que los indicadores IAQ e IAP complexivos valorados para la mediana y cuartil 75% de los valores relevados de los parámetros relevantes, con una valoración de razonable (y por tanto de aptitud) de la condición del agua natural del Río Santa Lucía en Aguas Corrientes y de las aguas del embalse de Paso Severino para su uso para abastecimiento público con tratamiento convencional de tipo fisicoquímico y desinfección.

Para condiciones de valores extremos absolutos el valor de IQA aún razonable, desmejora en el caso de IAP a condición de malo, básicamente por la presencia de dos determinaciones de Carbono Orgánico Total en el orden de 10 mg/l. En el siguiente subcapítulo se analizará en detalle la importancia relativa de este parámetro y su forma de control. A manera de avance a dicho análisis, se indica que ese parámetro está relacionado con el riesgo de formación de Trihalometanos y Ácidos Haloacéticos en el agua potable como subproducto de la reacción de desinfectantes base cloro con la materia orgánica. La información relevada del agua tratada en la Usina de Aguas Corrientes permite observar valores admisibles en todos los casos de estos parámetros, sin perjuicio de estar en desarrollo estrategias varias para el mayor control y remoción de TOC durante los procesos de tratamiento, que permiten y permitirán garantizar la calidad del agua producto y por tanto relativizar la calificación extrema asociada a los episodios extraordinarios de mayor concentración de esta variable.

En resumen, analizada la condición de calidad del agua bruta bajo diferentes metodologías y normativas internacionales de prestigio partiendo de la referencia nacional indicada, es posible concluir en que el agua del Río Santa Lucía y sus afluentes principales en sus diferentes estaciones de monitoreo y captación, con especial aplicación al caso de la Usina de Aguas Corrientes, debe considerarse como APTA para su uso para consumo público previo tratamiento convencional, complementado con instalaciones y procedimientos especiales que permitan atender eventos extraordinarios de mayor concentración de TOC, compuestos que provoquen olor y sabor, coliformes totales y fecales.

Esta valoración se realiza para las condiciones actuales y opera a manera de diagnóstico asociado a determinaciones realizadas en el período 2005-2013. El juicio antes indicado, se realiza sin perjuicio de destacar la necesidad de propiciar la continuidad de un monitoreo estricto y seguimiento de la calidad tanto trófica como

integral del agua de la cuenca a partir de los parámetros reseñados, así como paralelamente propiciar el máximo control de la gestión de la calidad del agua en la Cuenca con estricta observancia de la normativa ambiental vigente, con especial énfasis en los parámetros principales: nutrientes (fósforo y nitrógeno total y como amonio), coliformes fecales, metales, tóxicos orgánicos y DBO, provenientes de fuentes difusas y no difusas.

IV.3.3 Análisis del contenido orgánico y de factores propiciatorios de formación de compuestos tóxicos y/o generadores de olor y sabor

IV.3.3.1 CONTENIDO ORGÁNICO (NOM)

En el presente capítulo se profundiza el análisis respecto al contenido de materia orgánica natural (NOM) como componente de importancia significativa en la valoración de la calidad del agua para su uso como fuente de consumo humano.

Por materia orgánica natural, se considera al conjunto de sustancias resultantes de procesos naturales que ocurren en el medio acuático y su entorno, así como los productos y subproductos de la descomposición de reacciones metabólicas asociadas a la materia orgánica en general (origen natural y antrópico) y fitoplancton en particular.

La concentración y reactividad de dicha NOM presente en un cuerpo acuático puede estar influenciada por las características propias del cuerpo acuático, cambios estacionales de temperatura y precipitación, y fundamentalmente por la dinámica de actividades humanas y animales asociadas al uso del cuerpo de agua y cuenca circundante.

La importancia de considerar en forma especial el contenido orgánico de una fuente de agua, se asocia al potencial de reacción de compuestos derivados de la desinfección (desinfection by-products, DBPs), de características perjudiciales para la salud humana (riesgo cancerígeno). Tales compuestos derivados se agrupan en familia de Trihalometanos y Ácidos Haloacéticos, que se encuentren expresamente limitados en las normas de calidad de agua potable, tanto nacional como internacionales. Se destacan asimismo directivas y normas internacionales, que conjugan con la limitación de este tipo de compuestos nocivos, la obligatoriedad en incorporar determinadas prácticas de tratamiento (ej.: la Guía de Tratamiento vigente en USA, llamada D/DBP Rule 1998-2001, establece requisitos de remoción de Carbono Orgánico Total TOC mínima, mediante uso de técnicas de coagulación acentuada).

La cuantificación del contenido de NOM, se realiza mediante diferentes parámetros siendo los más utilizados:

- TOC, Carbono Orgánico Total
- DOC, Carbono Orgánico Disuelto
- Abs UV, Absorbancia UV254
- PFTHM, Potencial de Formación de Trihalometanos

Es importante señalar que estos parámetros son una guía operacional, principalmente para calificación del agua bruta y el riesgo de formación de Trihalometanos, pero no constituyen en sí mismos, parámetros que estén expresamente limitados tanto en guías de agua bruta, como en normas de calidad de agua potable. En efecto, a vía de ejemplo, el PFTHM (o valor asociado de TOC) está presente para la determinación del parámetro IAP, en tanto las normas de calidad de agua potable limitan al menos el contenido de THM total. No obstante, varios autores han desarrollado estudios rigurosos de correlación entre contenidos de TOC y DOC y PFTHM, agregando como otros parámetros relevantes la dosis de cloro, clorofila-a y el tiempo de contacto (Minear y Morrow 1987, Chang 1996, Rodríguez 2000, Golfinopoulos).

A los efectos de la valoración del contenido orgánico NOM en la cuenca del río Santa Lucía, se destaca a continuación el resumen observado de valores de TOC y DOC:

CARACTERIZACIÓN DE AGUA BRUTA EN CUENCA DEL RÍO SANTA LUCÍA											
CÓDIGO ESTACIÓN	SLO1	SLO2.5	SLO3	SLO4	SLO5	SLO5.5	SLC03	PS2	CG3	CA02	CA04
CURSO DE AGUA	Río Sta Lucía	Río Sta Lucía	Río Sta Lucía	Río Sta Lucía	Río Sta Lucía	Río Sta Lucía	Río Sta Lucía Chico	Embalse Paso Severino	Embalse Canelón Grande	Arroyo Canelón Chico	Arroyo Canelón Grande
NOMBRE ESTACIÓN	Campanero	Fray Marcos	San Ramón	Paso Pache	Santa Lucía	Aguas Corrientes	Cd Florida Sur	Presa	Presa	Cd Canelones Oeste	Margat
PARAMETRO:	TOC (mg/l)										
Fuente info:	OSE	OSE	OSE	DINAMA	OSE	OSE	DINAMA	OSE	DINAMA	DINAMA	DINAMA
Periodo:											
Mínimo	2,90	3,50	3,00		4,90	4,10		4,50			
Mediana	3,20	4,90	5,30		6,80	6,37		6,85			
Cuartil 75%	3,90	6,75	9,15		8,35	8,69		7,63			
Máximo	4,60	8,60	13,00		9,90	11,00		8,40			
PARAMETRO:	DOC (mg/l)										
Fuente info:	OSE	OSE	OSE	DINAMA	OSE	OSE	DINAMA	OSE	DINAMA	DINAMA	DINAMA
Periodo:											
Mínimo		6,20	4,20		4,60	5,60		6,40			
Mediana		7,10	5,80		4,60	6,30		6,75			
Máximo		8,00	5,90		4,60	9,00		7,10			

Tabla IV.7. Resumen de TOC y DOC en puntos de la Cuenca. Datos período 2005-2012

Se presenta una valoración de TOC en Aguas Corrientes con mediana de 6,80 mg/l; cuartil 75% 8,69 mg/l y máximo absoluto de 11,0 mg/l. Es de destacar que los valores de base del TOC en ambientes con mínima intervención humana, se ubican en medianas de 3 a 4 mg/l (arroyo Campanero aguas arriba de ciudad de Minas).

En la Tabla IV.8 se presentan valores de referencia de TOC, según estudio de G. Abril¹¹ et al (2002), en estudio de nueve cuencas europeas.

Curso de agua	TOC media (mg/l)
Scheldt (Bélgica)	25,1
Rhin (Suiza-Austria-Alemania-Francia-Países Bajos)	3,7
Gironde (Francia)	5,7
Támesis (Inglaterra)	9,3
Elba (Alemania-Rep. Checa)	6,9
Sado (Portugal)	9,6
Ems (Alemania-Países Bajos)	10,9
Douro España-Portugal)	3
Loire (Francia)	8,5

Tabla IV.8. Valores de referencia de TOC (concentraciones medias)

Asimismo establecen una clasificación de los cursos, con frontera de TOC en 7 mg/l entre ambientes prístinos y eutroficados.

La valoración por tanto del parámetro TOC, permite una alineación con lo ya expresado para calificar el agua bruta, esto es, el contenido de NOM valorado a través de TOC, se ubica en niveles intermedios, asociados a niveles medios de trofia y compatible con procesos de tratamiento convencionales, con recomendaciones de prácticas de procesos mejorados de coagulación y/o procesos avanzados (adsorción, oxidación por medios especiales, etc.) para atender eventos extraordinarios extremos.

¹¹ Abril et al (2002), Behaviour of Organic Carbon in Nine Contrasting European Estuaries. Estuarine, Coastal and Shelf Science (2002) 54, p 241.

IV.3.3.2 FACTORES PROPICIATORIOS DE OLOR Y SABOR Y METABOLITOS TÓXICOS

Se analizan a continuación las condiciones de riesgo de presencia de compuestos con potencial de formación de olor y sabor en el agua tratada. En relevamiento realizado en USA por la AWWA (American Water Works Association) en 1989, (Suffet 1995)¹², se registraba por parte de los responsables de los servicios, que un 63% registraba quejas de olor y sabor por gustos “terrosos” del agua distribuida.

Se ha destacado este antecedente, dada su estrecha correlación con los incidentes de calidad registrados en el Servicios de Agua Potable de Montevideo el pasado mes de marzo de 2013, con quejas por parte de los usuarios de similar naturaleza.

La determinación de este tipo de olores y sabores, se asocia con la presencia de dos compuestos principales: Geosmina y Metil-Iso-Borneol (MIB). El incidente de olor registrado en Montevideo en marzo pasado, fue debido a la presencia de esta sustancia en concentraciones por encima del umbral de detección humano.

Suffet (1995) señala para estos dos compuestos un origen vinculado a metabolitos asociados a actinomicetos y algas. Los grupos algales más asociados a estos episodios son los de las algas verdiazules o cianofíceas (Anabaena, Aphanizomena, Microcystis y Oscillatoria), las crisofíceas (Dinobryon, Synura, Uroglena, y Uroglenopsis), las diatomeas (Asterionella, Cyclotella y Tabellaria) y los dinoflagelados (Ceratum y Peridinium). Los metabolitos asociados a actinomicetos se vinculan a la presencia más bien de MIB en tanto la Geosmina se ha encontrado preferentemente junto a cianofíceas.

El umbral de detección de la Geosmina se ubica para el ser humano (depende del individuo) a partir de concentraciones extremadamente bajas, en el orden de 15 ng/l (personas más sensibles), con umbral de determinación de 5 ng/l. La presencia de concentraciones detectables de Geosmina puede ocurrir aún con bajas concentraciones algales.

Dizialowski et al (2009)¹³ desarrollaron recientemente un estudio relacionado con el uso de modelos predictivos de formación de Geosmina en cuerpos de agua en Kansas (USA). El objetivo del estudio fue poder prever los incidentes de olor y sabor con suficiente antelación, de manera de adoptar las medidas de control en planta a tiempo. Mencionan que si bien es asumido que condiciones de eutrofia avanzada tornan más vulnerable una fuente de agua a incidentes de olor y sabor, los resultados de estudios

¹² Suffet 1995, Advances in Taste-and-Odor Treatment and Control, AWWA Research Foundation.

¹³ Dizialowski, Development of predictive models for geosmin-related taste and odor in Kansas, USA, drinking water reservoirs. Water Research 43(2009) pag 2829.

no permiten utilizar el estado trófico y sus indicadores principales (clorofila-a, densidad de cianobacterias, etc.) como predictor de geosmina. A vía de ejemplo, se cita el caso del embalse Big Hill (Kansas) clasificado como mesotrófico y sin embargo con las concentraciones más altas de geosmina (11 ng/l) para valores de clorofila de 12,7 µg/l.

Para el caso particular de la cuenca del Río Santa Lucía, los episodios de olor y sabor aparecen con una frecuencia multianual. En efecto, se recuerdan aproximadamente 3 episodios de olor y sabor en los últimos 10 años, asociados a la presencia de Geosmina y gusto terroso.

En particular se han analizado los datos fisicoquímicos asociados al episodio del pasado mes de fines de febrero a marzo de 2013, que se resumen en la siguiente tabla:

Estación	Parámetro						
	Turbiedad	TOC	P	Fitoplancton (org/ml)		Cianobacterias (org/ml)	
	NTU	mg/l	(µg/l)	máx período	Mediana 2005-2013	máx período	Media 2005-2013
Minas	8	4,6	40	3300	992	471	20
Fray Marcos	6,5			3200	288	980	5
San Ramón	16	4,2	130	704	67	401	7
Santa Lucía	11	4,9	280	1430		168	
Aguas Corrientes	14	6,4	400	3300	992	432	4

Tabla IV.9. Valores de T, TOC, P, fitoplancton y cianobacterias en puntos de la Cuenca

Las determinaciones anteriores se efectuaron en el período 1 a 25 de marzo de 2013 y se realizan una vez ya detectado el fenómeno de olor y sabor en la Usina de Aguas Corrientes (1º de marzo), pre identificado a nivel de la cuenca aguas arriba de Fray Marcos. Es posible entonces estimar que los factores desencadenantes del incidente, asociados a florecimiento de algas (básicamente cianofíceas) se iniciaron con anterioridad (mes de febrero).

A estos efectos se procedió a analizar la serie de caudales en estaciones limnimétricas de la cuenca. Analizando los datos de la estación de Paso de los Troncos en el Arroyo Casupá, se registraron valores de caudal mínimo en el período 17 a 20 de febrero, con caudal mínimo de 78 l/s el día 20 de febrero. Ese valor de caudal se corresponde con un coeficiente de escorrentía específico de 0,114 l/s/km², ligeramente superior a los mínimos históricos de 0,106 l/s/km² asociados a mínimos absolutos en el período 1983 a 2013, y también citados en estudios de estiajes extremos (Anuario 1988-1989 de la Dirección Nacional de Hidrografía). Es posible entonces señalar que en la segunda

quincena del mes de febrero se dieron condiciones de escurrimientos extremadamente bajos.

Aplicando el coeficiente específico mínimo determinado anteriormente a la sección de control de Fray Marcos con 2750 km² de cuenca, resulta un caudal de 313 l/s.

En la Tabla IV.10 se resumen los datos de caudal extrapolados del Río Santa Lucía en Fray Marcos, para las fechas correspondientes a los relevamientos hidrobiológicos citados, en el intervalo de 30 días posteriores al incidente.

Fecha	Q Fray Marcos (m ³ /s)	Q Fray Marcos medio 4 días previos (m ³ /s)	Fitoplancton (org/ml)
20 febrero 2013	0,32	0,31	Sin medición
1 marzo 2013	1,12	1,73	3244
8 marzo 2013	2,84	4,15	634
20 marzo 2013	1,78	2,03	5730

Tabla IV.10. Resumen datos registrados en evento de olor y sabor. Marzo 2013

Del análisis de la información y antecedentes es posible efectuar los siguientes comentarios:

- Los valores de TOC y fitoplancton, se asocian a concentraciones moderadas de materia orgánica y fitoplancton. No obstante, los valores de fitoplancton y cianobacterias están por encima de los valores de mediana registrados en los últimos 7 años. Esta afirmación se mayor si se considera que las determinaciones hidrobiológicas son algunos días posteriores al máximo del evento
- En el período señalado fueron detectados niveles de olor y sabor en tramo superior del río Santa Lucía (Fray Marcos) el día 1º de marzo de 2013, incidencia que luego fue observada en días siguientes en las estaciones ubicadas aguas abajo hasta Aguas Corrientes. La presencia de Geosmina identificada en agua bruta en Aguas Corrientes, indica presencia de este compuesto a concentraciones superiores al nivel umbral de detección humana

- Los caudales mínimos registrados por un período superior a 4 días entre 17 y 20 de febrero (aprox. 10 días antes de la detección del incidente), se aproximan a mínimos históricos absolutos. Este factor, en condiciones de alta luminosidad y temperatura asociados al período del año; baja turbiedad y alturas del agua en ríos y afluentes, favorecieron condiciones de desarrollo de algas (confirmado con mediciones) y liberación de metabolitos algales (geosmina)
- El fenómeno cesó naturalmente con el incremento de caudales observado, en rangos superiores a 10 veces el mínimo observado antes citado. El efecto directo de dilución, sumado a la modificación de las condiciones fisicoquímicas generadas por el mayor ingreso de agua al ambiente físico de reacción hidrobiológica, concurren en disipar el fenómeno. Esta observación, anticipa la valoración positiva de poder contribuir a minimizar la ocurrencia de estas condiciones adversas, incorporando caudales de regulación para condiciones de estiaje mínimo, que contribuyan sea a evitar el inicio de procesos de florecimiento repentino de cianofíceas (por mayor renovación de ambientes cuasi-lentícos asociados a caudales extremadamente bajos) y/o el efecto dilución. Las propias valoraciones de caudales asociados al evento en cuestión, permiten observar que caudales en el entorno de 3 a 4 m³/s en Fray Marcos, lograron incluso disipar los máximos valores registrados en el período de la incidencia en aproximadamente 5 veces la máxima concentración registrada
- La observación anterior, podría avalar el efecto positivo de contar con un embalse de regulación complementario a Paso Severino en el tercio superior del Río Santa Lucía. Este embalse sumaría a su función natural de regulador de caudales mínimos, el efecto de asegurar la oferta cuantitativa de agua bruta en Aguas Corrientes, agregando una función de minimizar las condiciones favorables al desarrollo repentino de floraciones algales (propiciatorias de aparición de metabolitos algales ofensivos)

A partir del análisis y comentarios anteriores, es posible agregar las siguientes conclusiones:

- La presencia de Geosmina en concentraciones objetables estuvo relacionada con concentraciones de mediana entidad de cianofíceas y fitoplancton, en el tercio superior del Río Santa Lucía. Este fenómeno estuvo asociado a un estiaje severo en días previos, asimilable a mínimos históricos
- La valoración anterior, no obsta vincular el incremento de fitoplancton como una condición necesaria, a partir de la cual es posible la liberación de metabolitos algales (Geosmina y MIB) formadores de olor y sabor
- El incidente pudo ser detectado en etapas tempranas, no obstante no pudo ser controlado en los procesos de potabilización por insuficiencia de capacidad de

adsorción (dosis necesaria de carbón activado en polvo) y/o procesos complementarios (posibilidad de preoxidación con dióxido de cloro o similar)

- La correlación de variables hidrobiológicas con caudales mínimos en el curso, permiten valorar efectos positivos de incrementos de caudales por encima de mínimos en el orden de 4 m³/s (umbral observado a partir del cual se reducen significativamente las concentraciones de fitoplancton)
- Más allá de acciones de preservación de la calidad del agua de la cuenca y prevención de procesos de eutrofización, es imprescindible contar con herramientas hábiles y eficientes en plantas potabilizadoras para controlar y remover las sustancias que provocan olor y sabor

Se ha priorizado en este análisis la referencia a compuestos de olor y sabor, particularmente el caso de Geosmina, por su directa vinculación con incidentes registrados de gran repercusión pública. Corresponde indicar no obstante que la sustancia en cuestión no es objetada a las concentraciones aparecidas como sustancia tóxica.

Es oportuno mencionar además, que no se han registrado en las determinaciones de tóxicos orgánicos, aparición de metabolitos algales tóxicos como la microcistina. Esta toxina se asocia al género *Microcystis* del grupo de las algas verdiazules o cianofíceas. La vulnerabilidad de la fuente a la aparición de este género existe (como sucede en todo cuerpo de agua superficial susceptible de productividad primaria biológica), y el control efectivo del mismo es coincidente en cuanto a dotar a las Plantas Potabilizadoras de las capacidades de remoción de tales compuestos en forma eficiente (procesos fisicoquímicos, adsorcivos y oxidativos).

IV.4 Estudio de correlación entre calidad del agua bruta, sus causas naturales y antropogénicas y la evolución esperada

Se ha efectuado en puntos anteriores un análisis de las condiciones actuales del agua bruta en la Cuenca del Río Santa Lucía. Es el objetivo del presente, realizar un análisis prospectivo de la evolución esperada de la calidad del agua en cuestión.

A estos efectos, se apela a un análisis basado en la evolución esperada del uso del suelo y demás actividades generadoras de aportes orgánicos y nutrientes relevantes, debidos a fuentes difusas y puntuales asociadas a los diferentes usos.

Recientemente (junio 2010) se ha concluido por parte de DINAMA y JICA, un pormenorizado y riguroso estudio, denominado "Informe de Situación sobre Fuentes de Contaminación Difusa en la Cuenca del Río Santa Lucía", JET-DINAMA. El Estudio fue realizado para toda la cuenca del Río Santa Lucía, incluyendo el Río San José.

A los efectos del presente Estudio, que se circunscribe al Santa Lucía aguas arriba de Aguas Corrientes, se consideran válidas las estimaciones de aportes específicos por sector de uso, en la medida de la alta proporción relativa de la cuenca bajo estudio respecto al total analizado, y a una razonable homogeneidad de las características físicas y de actividad antrópica desarrolladas en una y otra.

En el mencionado Estudio, se efectúa un análisis correlativo de cargas contaminantes (DBO, Nitrógeno Total y Fósforo Total), relacionado con fuentes difusas de aporte (agropecuaria, horti-fruticultura, forestación, etc.) y fuentes puntuales (domésticas e industriales). Dicha estimación de aportes por método de exportación, se corresponde en el mismo estudio, con un balance de nutrientes y cargas medidas en el curso de agua a través de estimaciones a partir de concentración por caudal medidos.

Se ha procedido entonces a proyectar las actividades fuentes de polución difusa y puntuales, a partir de proyecciones de actividad económicas sectoriales por sector. A estos efectos se han tenido en cuenta las proyecciones realizadas sectoriales por oficinas específicas del Poder Ejecutivo (OPYPA y OPP).

En la Tabla IV.11, se presentan las áreas actuales y coeficientes de exportación por actividad tomados del Estudio antes citado, así como los coeficientes de exportación proyectados a partir de los niveles de intensificación de actividad por unidad de área esperados.

En la Tabla IV.13, se presentan las cargas totales absolutas y específicas por área actuales (citadas en el Estudio antes mencionado) y proyectadas a partir de las hipótesis de crecimiento e intensificación asumidos.

No han sido tenidos en cuenta, por considerarse que actúan como factores favorables, la esperada incorporación de mejores prácticas de manejo de nutrientes y suelos, ya en vías de implementación, que es de esperar generen reducciones en la carga específica de nutrientes aportada.

El análisis de proyección realizado sobre bases conservadoras de intensificación de actividad en condiciones semejantes de aporte específico de nutrientes, arroja crecimiento de aportes en el entorno del 20%, destacando los siguientes valores referenciales:

Coeficiente de exportación (kg/km²/año)	Actual	Proyectado 2045
DBO	2107	2398
Nitrógeno Total	745	884
Fósforo Total	69	82

Tabla IV.11. Coeficientes de exportación de DBO, N y P. Actual y proyectado al 2045

En el Estudio citado, se vinculan los coeficientes específicos medidos actuales con referencias de actividad internacional, destacando los siguientes comentarios:

- En áreas de actividad agropecuaria intensiva de Reino Unido, Dinamarca y Francia), se han medido coeficientes de aporte de 1500 kg NT/km²/año y de 100 kg PT/km²/año (Kronvang 2008). Estos coeficientes se correlacionan con concentraciones de nutrientes en cursos de agua de 5 mg NT-N/l y 500 µg/l de PT-P.
- En forma semejante, en Estados Unidos, las áreas de actividad agropecuaria más intensiva, se asocian a aportes específicos de 2500 kg NT/km²/año y resultan concentraciones de NT de 2,25 mg NT/l; áreas de actividad intermedia con cargas de 450 kg NT/km²/año y fósforo 58 kg PT/km²/año, se relacionan con concentraciones de menos de 0,83 mg NT/l y 220 µg/l de PT-P.
- Los valores actuales medidos en condiciones de mediana en la Cuenca del Santa Lucía, arrojan concentraciones de 0,80 mg NT/l y 330 µg/l, para cargas

específicas de 745 kg NT/km²/año y 69 kg PT/km²/año, para nitrógeno total y fósforo total respectivamente.

- Los valores de concentración antes referidos actuales de Nitrógeno Total y Fósforo total (período 2005-2012), no difieren sustancialmente de los observados en ocasión de las dos campañas de monitoreo efectuadas en el marco del Plan Director de Abastecimiento de Agua Potable de Montevideo, que arrojaron una media de 0,81mg/l y 290 µg/l respectivamente. Puede inferirse un comportamiento estable de tales variables, con ligera tendencia al crecimiento del nivel de fósforo asociado seguramente a incremento de actividad económica, fundamentalmente a nivel agropecuario.
- El análisis conjunto de valores internacionales y nacionales, guarda una razonable coherencia, y puede esperarse para las condiciones más desventajosas (no consideración de mejor gestión ambiental en la cuenca), una variación de concentraciones de nutrientes en el mismo orden esperado de crecimiento de la carga específica. Esto supone poder esperar órdenes de mediana de concentraciones de Nitrógeno Total en el entorno de 900 µg/l y de fósforo total de 400 µg/l. Tales concentraciones medias esperadas, no modifican significativamente la valoración de calidad realizada para las condiciones actuales.

Coeficientes de exportación de nutrientes en cuenca Santa Lucía												
Uso del suelo	Área actual		Crecimiento proyectado área 2013-2045 (%)	Área proyectada		Coeficiente de Exportación			Coeficiente de Exportación proyectado			% crecimiento CE
						DBO	NT	PT	DBO	NT	PT	
	km2	%		km2	%	kg/ha/año	kg/ha/año	kg/ha/año	kg/ha/año	kg/ha/año	kg/ha/año	
Agricultura-ganadería	565,4	4,3%	111,60%	1196,4	9,0%	16,8	11,0	0,8	16,8	11,0	0,8	0%
Agricultura-lechería	78,9	0,6%	111,60%	167,0	1,3%	16,8	11,0	0,8	16,8	11,0	0,8	0%
Citrus	80,9	0,6%	40%	113,3	0,9%	16,8	17,9	1,1	16,8	17,9	1,1	0%
Forestación	559,2	4,2%	60%	894,7	6,7%	5,6	3,4	0,1	5,6	3,4	0,1	0%
Frutales-viñedos	629,4	4,7%	0%	629,4	4,7%	16,8	17,9	1,1	16,8	17,9	1,1	0%
Ganadería y Lechería	1718,1	12,9%	-3,40%	1659,7	12,5%	16,8	4,0	0,4	19,2	4,6	0,46	14%
Ganaderías sobre mejoramientos >10%	695,3	5,2%	-3,40%	671,7	5,1%	16,8	4,0	0,4	19,2	4,6	0,5	14%
Ganaderías sobre mejoramientos <10%	2732,2	20,6%	-3,40%	2639,3	19,9%	16,8	4,0	0,4	19,2	4,6	0,5	14%
Horticultura	782,4	5,9%	0%	782,4	5,9%	16,8	17,9	1,1	16,8	17,9	1,1	0%
Hoti-Fruti-Vitivinicultura	113,1	0,9%	0%	113,1	0,9%	16,8	17,9	1,1	16,8	17,9	1,1	0%
Lechería	2548,5	19,2%	-34,0%	1682,0	12,7%	16,8	4,0	0,4	24,2	5,8	0,6	44%
Lechería y ganadería	2477	18,7%	-3,40%	2392,8	18,0%	16,8	4,0	0,4	19,2	4,6	0,5	14%
Urbano	289,4	2,2%	12%	324,1	2,4%	56,0	9,0	2,2	56,0	9,0	2,2	0%
Población												12%
Actividades industrial												80%
Industria	13269,8	100,0%		13265,8	100,0%							
Fuentes: Informe situación sobre Fuentes de Contaminación Difusa en Cuenca del Río Santa Lucía (DINAMA-JICA-2010) v Proyecciones crecimiento actividad económica OPYPA v OPP												

Fuentes: Informe situación sobre Fuentes de Contaminación Difusa en Cuenca del Río Santa Lucía (DINAMA-JICA-2010) y Proyecciones crecimiento actividad económica OPYP y OPP

Tabla IV.12. Coeficientes de exportación de nutrientes según uso del suelo

Cargas contaminantes actuales y proyectadas estimadas por Método del Coeficiente de Exportación												
Fuente/Usos de la tierra	Carga contaminante total						Carga contaminante total proyectada 2045					
	DBO		NT		PT		DBO		NT		PT	
	kg/d	%	kg/d	%	kg/d	%	kg/d	%	kg/d	%	kg/d	%
Fuentes difusas												
Agricultura-ganadería	2602	3,4%	1704	6,3%	116	4,7%	5507	6,3%	3606	11,2%	246	8,3%
Agricultura-lechería	363	0,5%	238	0,9%	16	0,6%	768	0,9%	503	1,6%	34	1,2%
Citrus	372	0,5%	397	1,5%	24	1,0%	521	0,6%	555	1,7%	34	1,2%
Forestación	858	1,1%	521	1,9%	15	0,6%	1373	1,6%	833	2,6%	25	0,8%
Frutales-viñedos	2897	3,8%	3087	11,4%	190	7,6%	2897	3,3%	3087	9,6%	190	6,4%
Ganadería y Lechería	7908	10,3%	1883	7,0%	188	7,5%	8709	10,0%	2073	6,4%	207	7,0%
Ganaderías sobre mejoramientos >10%	3200	4,2%	762	2,8%	76	3,1%	3524	4,0%	839	2,6%	84	2,8%
Ganaderías sobre mejoramientos <10%	12576	16,4%	2994	11,1%	299	12,0%	13849	15,9%	3297	10,3%	330	11,1%
Horticultura	3601	4,7%	3837	14,2%	236	9,4%	3601	4,1%	3837	11,9%	236	8,0%
Hoti-Fruti-Vitivinicultura	521	0,7%	555	2,0%	34	1,4%	521	0,6%	555	1,7%	34	1,2%
Lechería	11730	15,3%	2793	10,3%	279	11,2%	11148	12,8%	2654	8,3%	265	9,0%
Lechería y ganadería	11401	14,9%	2715	10,0%	271	10,9%	12555	14,4%	2989	9,3%	299	10,1%
Urbano	4440	5,8%	714	2,6%	174	7,0%	4973	5,7%	799	2,5%	195	6,6%
Total de fuentes difusas	62470	81,5%	22198	82,0%	1921	76,9%	69946	80,2%	25629	79,7%	2179	73,5%
Fuentes puntuales												
Domésticas	12093	15,8%	3342	12,3%	374	15,0%	13544	15,5%	3743	11,6%	419	14,1%
Industriales	2045	2,7%	1542	5,7%	203	8,1%	3681	4,2%	2776	8,6%	365	12,3%
Total de fuentes puntuales	14138	18,5%	4884	18,0%	577	23,1%	17225	19,8%	6519	20,3%	784,28	26,5%
TOTAL	76608	100,0%	27082	100,0%	2498	100,0%	87171	100,0%	32147	100,0%	2963	100,0%
CARGA POR ÁREA (kg/km2/año)	2107,2		744,9		68,7		2397,7		884,2		81,5	
% CRECIMIENTO CARGA							14%		19%		19%	

Tabla IV.13. Cargas totales absolutas y específicas por área. Datos actuales y proyectados al 2045 a partir de hipótesis de crecimiento e intensificación asumidos

IV.5 Conclusiones sobre el estado actual y proyección esperada de la calidad del agua en la Cuenca del Río Santa Lucía en el período de previsión del Proyecto

El análisis realizado de condiciones actuales y proyectadas del agua bruta del Río Santa Lucía y sus principales afluentes, con especial consideración al embalse Paso Severino como fuente reguladora en períodos de estiaje, permite las siguientes conclusiones finales:

- El estado trófico actual, particularmente del Río Santa Lucía en Aguas Corrientes, así como de las aguas del embalse de Paso Severino (ambos componentes fundamentales del Sistema de Abastecimiento del Área Metropolitana de Montevideo), pueden considerarse en un estado de eutrofia moderado, **calificable según los distintos indicadores reseñados como Mesotrofia, y asociado con productividades primarias biológicas intermedias a reducidas**
- Estos niveles de eutrofia moderada (mesotrofia) no impiden la ocurrencia de episodios esporádicos de florecimiento algal con riesgo de liberación de metabolitos de olor y sabor (Geosmina y otros) a concentraciones ofensivas para el consumo humano. Estos eventos pueden minimizarse con incorporación de mayores aportes de caudales de regulación para períodos de estiaje severo, sin perjuicio de la disponibilidad y uso de instalaciones y procedimientos eficientes para la remoción de los mismos en Plantas Potabilizadoras de la cuenca
- La valoración trófica no obsta el reconocer el carácter positivo y necesario de todas las acciones que propendan a minimizar el aporte de nutrientes (principalmente fósforo y nitrógeno) producto de la actividad antrópica (fuentes puntuales y difusas), y por tanto reducir los niveles de productividad primaria biológica observados
- Analizados bajo pautas y directivas nacionales e internacionales los parámetros específicos de calificación del agua del Río Santa Lucía y sus afluentes principales en sus diferentes estaciones de monitoreo y captación, con especial aplicación al caso de la Usina de Aguas Corrientes, puede considerarse la misma como **APTA para su uso para consumo público previo tratamiento convencional, complementado con instalaciones y procedimientos especiales que permitan atender eventos extraordinarios de mayor concentración de TOC, compuestos que provoquen olor y sabor, coliformes totales y fecales**

IV.6 Calidad del agua tratada en la Usina de Aguas Corrientes

Se analiza en el presente capítulo el historial de calidad de agua elevada por la Usina de Aguas Corrientes, a partir de determinaciones de calidad según procedimientos normalizados y valoraciones realizadas por el Laboratorio Central de OSE. Como ya se indicó en capítulos anteriores, este Laboratorio cuenta con certificación ISO 9001 para los procesos de control de calidad de agua potable.

IV.6.1 Procesamiento de información relevada de agua tratada y análisis de aptitud

La información relevada por el Laboratorio en la salida de Aguas Corrientes ha sido objeto de procesamiento estadístico y se ha procedido a comparar los valores representativos para los parámetros fundamentales, con los valores máximos admisibles indicados por la normativa nacional (UNIT 833:2008). Asimismo y a efectos de su consideración, se han comparado los valores de la referida norma con estándares de calidad vigentes en USA (National Primary and Secondary Drinking Water Regulations by EPA); Unión Europea (Directiva 98/83) y Guía de la Organización Mundial de la Salud.

La Tabla IV.14, resume tanto la información resultante del análisis estadístico de valores de parámetros más representativos medidos en Aguas Corrientes (L60) y las referencias a los valores máximos admisibles según los estándares antes indicados.

TABLA RESUMEN DE CALIDAD AGUA TRATADA USINA AGUAS CORRIENTES 2009-2013 Y REFERENCIAS NORMAS CALIDAD								
PARÁMETRO	MEDIANA	MAXIMO	MINIMO	UNIT 833:2008	NP/SDWS (EPA-USA)	UE (98/83)	OMS	OBS.
Turbiedad (NTU)	0,40	0,70	0,20	1,0	1 (0,3)	1	5	CUMPLE
Color (UC)	<5	<5	<5	15	15	20	15	CUMPLE
ph	6,9	7,5	6,4	6,5 A 8,5	6,5 A 8,5	6,5 A 8,5	6,5 A 8,5	CUMPLE
Conductividad (µS/cm)	319	444	216			2500		CUMPLE
Dureza (mg/l CaCO ₃)	77	105	69	500		500		CUMPLE
NO ₃ (mg/l NO ₃)	2,4	3,6	2,0	50	10	50	50	CUMPLE
NO ₂ (mg/l NO ₂)	<0,02	<0,02	<0,02	0,2	3,2	0,5	3	CUMPLE
NH ₄ (mg/l NH ₄)	<0,4	<0,4	<0,4	1,5		0,5	1,5	CUMPLE
SO ₄ (mg/l S)	48	74	24	400	500		250	CUMPLE
F (mg/l F)	<0,50	<0,50	<0,50	1,5	1,5	1,5	1,5	CUMPLE
TOC (mg/l C)	3,4	5,1	2,0					
Nitrógeno Total (mg/l N)	0,6	1,0	0,4					
Fósforos (mg/l P)	0,03	0,03	0,03			5		
Trihaometanos:								
CHCl ₃ (µg/l)	32	48	11	150			300	CUMPLE
CHBrCl ₂ (µg/l)	13	34	3	60			60	CUMPLE
CHClBr ₂ µg/L	4	24	2	100			100	CUMPLE
CHBr ₃ (µg/l)	5	5	5	100			100	CUMPLE
THM T (µg/l)	52	92	14	(*)	80	100		CUMPLE
Tóxicos Orgánicos (lista):								
	< ND	< ND	< ND	VER NORMA	VER NORMA	VER NORMA	VER NORMA	CUMPLE
Tóxicos Inorgánicos (lista metales)								
Fe (mg/l)	0,07	0,09	<0,06	0,3	0,3	0,2	0,3	CUMPLE
Mn (mg/l)	0,03	0,03	<0,03	0,1	0,05	0,05	0,1	CUMPLE
Zn (mg/l)	<0,04	<0,04	<0,04	4	5	---	3	CUMPLE
Na (mg/l)	29	48	18	200	---	75-150	200	CUMPLE
Pb (mg/l)	<0,002	<0,002	<0,002	0,03	0,01	0,05	0,01	CUMPLE
As (mg/l)	<0,005	<0,005	<0,005	0,02	0,025	0,05	0,01	CUMPLE
Cd (mg/l)	<0,000	<0,000	<0,000	0,003	0,005	0,005	0,003	CUMPLE
Cr (mg/l)	<0,002	<0,002	<0,002	0,05	0,05	0,05	0,05	CUMPLE
Se (mg/l)	<0,004	<0,004	<0,004	0,01	0,01	0,01	0,01	CUMPLE
Cu (mg/l)	<0,06	<0,06	<0,06	1	1	---	1 a 2	CUMPLE
Bacteriología:								
Coliformes Totales	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	CUMPLE
Coliformes Fecales	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	CUMPLE
Pseudomno Aeruginosa	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	CUMPLE
Heterotróficos (ufc/ml)	<1	<1	<1	500	500			CUMPLE

Tabla IV.14. Resumen calidad agua tratada en Aguas Corrientes (L60). Período 2009-2013

A los parámetros anteriores se agrega la consideración en cuanto a la determinación de olor y sabor. La norma nacional UNIT 833, establece como requisito para este parámetro: “Característico, ausencia de olor o sabor extraño”.

La norma europea 98/83, establece para olor y sabor el requisito de “Aceptable para los consumidores y sin cambios anómalos”.

La norma vigente en USA, establece el criterio de umbral de sabor, “TON- Thershold Odor Number” < 3. Esto significa la ausencia de sabor y olor en una muestra de agua diluida en relación 1 a 3, en agua destilada, con determinación a partir de panel de expertos especialmente seleccionados.

La cita específica de este parámetro guarda relación con las incidencias críticas de calidad de agua tratada registradas en los últimos 10 años, que en un número de episodios de aproximadamente 3 motivaron un contexto de fuerte insatisfacción a nivel de usuarios por episodios asociados a la presencia de Geosmina y ya analizados como incidencias en el capítulo correspondiente a la calidad del agua bruta.

El análisis de la información de agua tratada y su comparación con los estándares de calidad de agua potable antes citados permite realizar las siguientes conclusiones principales:

- La calidad del agua potable producida por la Usina Potabilizadora de Aguas Corrientes es controlada en forma rigurosa y siguiendo procedimientos estandarizados de total aceptación
- La norma de calidad nacional de referencia, UNIT 833:2008 guarda estrecha correlación con normas internacionales vigentes de prestigio (USA, Unión Europea, guías de la OMS)
- El único incumplimiento estricto detectado en los últimos años, estuvo asociados a episodios de olor y sabor, no implicando ningún riesgo sanitario y que no obstante, son motivo de acciones correctivas para evitar su repetición
- Para los restantes parámetros registrados y valorados estadísticamente, se constata **el cumplimiento de los VMP indicados en la norma, lo cual pone de manifiesto la calidad del producto distribuido**

Además de los comentarios principales anteriores, un análisis más particular de los parámetros determinados permite realizar las siguientes consideraciones:

- Los valores de turbiedad y color medidos, deben considerarse como muy buenos, y se asocian a condiciones eficientes de clarificación y filtración. En efecto, estos parámetros son indicadores operativos de gran importancia asociados a la presencia de partículas en suspensión, forma física bajo la cual se presentan la mayor parte de las impurezas no disueltas presentes en el agua. Los valores de mediana de turbiedad por debajo de 0,5 NTU permiten verificar el cumplimiento de valores ya no de máximo permitido sino de guías recomendadas por normas de gran exigencia, fundamentalmente atendiendo a remoción de cystos de organismos como gyardia y chryptosporidium
- A nivel de presencia de sustancias inorgánicas disueltas, corresponde destacar:
 - Los niveles de conductividad en el orden de 300 $\mu\text{S}/\text{cm}$ se asocian a aguas brutas con bajo contenido de sólidos disueltos y por tanto de reducida mineralización, factor positivo y asociado a una buena calidad de agua bruta natural

- La presencia de metales disueltos en el agua bruta es de baja entidad. La presencia de hierro y manganeso es mayoritariamente particulada y por tanto removida en la clarificación. La planta registra una eficiente remoción de sustancias como hierro y manganeso y finalmente los valores medidos para los metales característicos controlados por la norma se encuentran aún para valores máximos absolutos significativamente por debajo de los máximos permitidos.
- A nivel de sustancias orgánicas disueltas corresponde indicar:
 - Se realiza el control de un amplio listado indicado por la norma de tóxicos orgánicos que incluyen los principios activos de los principales herbicidas e insecticidas y/o subproductos de actividad industrial. Los valores medidos en agua tratada se ubican en valores seguros por debajo de niveles de detección, siendo ya citado el caso de la atrazina, cuya presencia ha sido detectada en agua bruta, pero aún en esa condición a concentraciones por debajo de los niveles admisibles para agua potable.
 - El otro grupo de compuestos orgánicos es el constituido por los Trihalometanos (THM), familia que incluye una serie de compuestos vinculados derivados de la reacción del cloro utilizado en la desinfección con la materia orgánica, principalmente disuelta presente en el agua. Los niveles de THM totales registrados en agua elevada se ubican en valores de mediana de 52 µg/l y valores máximos registrados de 92 µg/l. Estos valores se ubican con seguridad por debajo de los límites de la norma nacional (regula la suma de factores relativos de cada uno de los componentes de la familia de THM según un máximo de referencia para cada uno de ellos). No obstante, este parámetro está teniendo una evolución restrictiva en el concierto de normas internacionales, con limitaciones a 100 µg/l en la Unión Europea y de 80 µg/l en USA. Se trata entonces de un parámetro a controlar en su evolución dada su estrecha correlación con los tróficos del agua del Río Santa Lucía y del Embalse de Paso Severino, medidos a través de indicadores como TOC y DOC, según seguimiento practicado en la rutina de análisis y registrado la tabla de parámetros de referencia anterior.
- La calidad bacteriológica del agua tratada es inobjetable, registrándose el cumplimiento absoluto de los requisitos establecidos por la norma nacional. Se asocia al mismo concepto, la práctica de presencia de niveles de cloro residual a partir de práctica de cloración a “cloro libre” en planta y recloración en puntos de ingreso al sistema Montevideo de distribución en principales aductoras, que aseguran una condición de calidad bacteriológica estable en el proceso de conducción y distribución. Estos factores asociados a la muy buena condición de clarificación y potencial remoción de cystos de parásitos, constituyen una excelente garantía de calidad e inocuidad sanitaria del agua tratada.

IV.7 Análisis de episodios extraordinarios de calidad y aptitud de las instalaciones de la Planta de Aguas Corrientes para su manejo

En complementación con el análisis indicado en el punto anterior, se hace referencia en el presente a lo que se consideran oportunidades de mejora y acciones correctivas tendientes a optimizar el tratamiento en dos aspectos principales:

- Reducción del contenido de materia orgánica disuelta en el proceso de tratamiento.
- Control y remoción de compuestos generadores de olor y sabor.

El objetivo anterior está estrechamente relacionado, no obstante su análisis en el presente capítulo se realizará en forma secuencial e independiente.

IV.7.1 Remoción de materia orgánica disuelta en Planta

La información de partida de calidad de agua bruta y tratada nos indica las siguientes condiciones en cuanto a concentración de TOC en agua bruta, filtrada (antes de desinfección) y tratada (post desinfección):

TOC (mg/l)	Máximo	Mínimo	Mediana
Agua bruta	11,00	4,10	6,37
Agua filtrada (s/Cl)	7,00	2,00	3,50
Agua tratada (c/Cl)	5,10	2,00	3,40

Tabla IV.15. Valores de TOC en mg/l

Los niveles de eficiencia de remoción de TOC en el proceso de clarificación se ubican en el orden del 45%.

Si se aplicara la directiva establecida por vigente en USA para minimización de formación de subproductos de desinfección (D/DBP Rule-1998), a través de la práctica de “Enhanced Coagulation” o Coagulación Acentuada, y valores de alcalinidad de 60 a 120 mg/l CaCO₃, el requisito de remoción mínima de TOC estaría entre 35 y 40%

dependiendo de los valores de TOC, 4 a 8 y > 8 mg/l respectivamente. La constatación antes señalada, permite afirmar que la actual práctica de clarificación en Planta, verifica las directivas de remoción de materia orgánica propuestas en la última década en USA.

La valoración anterior se ve reforzada por la incorporación de nuevas herramientas de tratamiento, a saber:

- La disponibilidad de capacidad para dosificar dióxido de cloro sea en agua bruta o en instancia previa a la filtración, constituye una forma adicional de oxidación de materia orgánica (preferentemente post-decantación), con mínima formación de THM.
- La disponibilidad de instalaciones de carbón activado en polvo a concentraciones de hasta 100 mg/l es una herramienta adicional para uso en eventuales eventos extraordinarios de concentraciones elevadas de materia orgánica.

IV.7.2 Remoción de compuestos formadores de olor y sabor

Como ya fuera indicado en capítulo anterior, la incidencia crítica de calidad en el historial de la última década de la Planta de Aguas Corrientes, se asocia a los incidentes de baja recurrencia asociados a la detección de olor y sabor en agua bruta y tratada.

Dichos fenómenos estuvieron asociados, según ya fuera analizado, a los siguientes factores:

- Ocurrencia de floraciones algales con presencia de alta proporción de cianofíceas, en el tercio superior del Río Santa Lucía (fenómeno que potencialmente se puede repetir en otros cursos de agua y/o embalse de Paso Severino), con liberación de metabolitos del tipo Geosmina, asociado al tipo de olor identificado
- Incapacidad de la Planta en ocasión de presencia de tales compuestos, para su remoción, en virtud de insuficiencia de capacidad de dosificar carbón activado en polvo en la dosis apropiada (limitación a marzo de 2013 de dosificar un máximo de 30 mg/l, restricción hoy levantada por nueva capacidad de hasta 100 mg/l) y/o uso de herramientas de pre-oxidación de alta eficiencia y bajo riesgo como lo es el dióxido de cloro

Se desprende de lo anterior y de las acciones llevadas adelante con posterioridad al evento de marzo, que la Planta actualmente ha visto fortalecida su capacidad de tratamiento para atender episodios de presencia de olor y sabor en forma eficiente. No

obstante ello, estas medidas correctivas en Planta, se recomienda estén acompañadas por medidas preventivas como las ya señaladas en capítulo III, a saber:

- Implementación de acciones de mejora en la gestión de manejo de la cuenca que propendan a reducir los aportes de nutrientes al curso
- Asociado a la necesidad de aumentar la regulación de caudales mínimos necesarios para satisfacer las demandas proyectadas de agua, se valora la posibilidad de asegurar caudales mínimos en el entorno de los 3 m³/s, que según se ha observado, permiten prevenir y/o minimizar el inicio de condiciones propiciatorias de florecimientos algales repentinos y potencialmente formadores de metabolitos algales ofensivos (Geosmina) y/o tóxicos (microcistina).

IV.8 Conclusiones

Se concluye del análisis de la información procesada sobre calidad de agua tratada en la Planta de Aguas Corrientes en el período de análisis (2009-2013), **la condición de aptitud de la misma para consumo humano, derivada de condiciones satisfactorias del agua bruta y la disponibilidad de instalaciones y procesos de operación de tratamiento eficientes en la Usina de Aguas Corrientes.**

Los episodios de olor y sabor ocurridos en marzo 2013 y con menor frecuencia en años anteriores, están razonablemente caracterizados. Se encuentran en práctica y proceso de análisis complementario (motivo de instancias siguientes del presente Estudio) acciones correctivas y preventivas, tendientes a minimizar tales incidencias en la fuente, y corregir eventuales incidentes con procesos idóneos de control eficientes a nivel de Planta.