

Ing. Msc Vicente Eduardo González-Otoya Orbegozo  
Asesor de la Alta Dirección  
Autoridad Nacional del Agua



# Análisis del aprovechamiento de excedentes

## RESUMEN

Conceptualmente, en hidrología nos apoyamos en un principio que nos orienta a que las series denominadas históricas se repetirán en el futuro.

En relación al cambio climático y sus consecuencias, ¿qué utilidad, en la práctica, nos brinda este principio? Como respuesta, al observar la naturaleza y la producción de agua, "se infiere que los picos serán más altos y que los agotamientos o descensos serán más agudos o reducidos."

Dentro del ciclo hidrológico, este conjunto de procesos significa que, si bien es cierto existirá una alteración en la forma cómo se presentarán los caudales con diferente distribución anual, se asumirá que el volumen total seguirá siendo el mismo.

En el presente artículo, se propone evaluar en conjunto los volúmenes sobrantes, cada uno con una probabilidad de ocurrencia, lo que servirá de base para definir su destino o su aprovechamiento. A manera de ejemplo, se analiza el caso del río Ica. Nuestro objetivo principal es incentivar el uso de los excedentes, reduciendo el flujo de los mismos hacia el mar.

## GENERALIDADES

En la gestión integrada de recursos hídricos, es necesario desarrollar procedimientos que nos permitan alcanzar varios objetivos definidos o preestablecidos, entre ellos: atender la totalidad de las demandas, generar nuevas demandas, evitar las pérdidas de agua al mar y disminuir los riesgos por inundaciones. Para cada caso, tendremos varias posibilidades de solución que conformarán un conjunto de elementos para cada medida estructural que se proponga.

El enfoque de la evaluación hidrológica que presentamos contempla una caracterización de los caudales hasta el nivel diario. Vía el análisis de frecuencias, se definirán las persistencias, que permitirán identificar la franja aprovechable. La mencionada franja tendrá dos límites — superior e inferior— según se explica a continuación:

- Para sistemas no regulados (es decir, sin reservorio o de captaciones directas), buscaremos una persistencia de los caudales naturales; usualmente, escogemos el tramo seco, con persistencias superiores al 75 %. Este valor se convertirá en el límite inferior.
- Nos toca ahora identificar el límite superior. Este es el volumen diferencial que se obtendrá entre el valor presentado en forma natural y el volumen presentado en el nivel inferior definido con la persistencia igual o superior al 75 %.

Ahora tendremos identificados dos espacios diferenciados entre las líneas de persistencia mayor al 75 % y la línea correspondiente al hidrograma presentada de forma natural. La franja inferior corresponde a los valores comprometidos para cada probabilidad de persistencia y la franja superior corresponde a los volúmenes utilizables. El destino de estos últimos volúmenes puede derivarse a:

- Acciones de recuperación de acuíferos o recarga artificial
- Almacenamientos y regulaciones principales o complementarias para mejorar la atención de las demandas actuales o atender nuevas demandas
- Almacenamientos con fines de control de avenidas.

Nos queda una gran tarea por delante puesto que el lograr la identificación y la cuantificación de excedentes, que hasta este momento no se utilizan, nos abre la posibilidad de emplear una gran fuente de recursos hídricos disponibles no aprovechados.

Actualmente, contamos con reservorios de regulaciones anuales o plurianuales con una masa total de 2 500 hm<sup>3</sup>. No contamos con reservorios de máximas avenidas ni utilizamos la recarga artificial de los acuíferos; solo tenemos, como experiencia que se puede citar, la recarga inducida en la zona de Huachipa – Atarjea. Por lo tanto, tendríamos, por lo menos, en las condiciones medias de descargas anuales un volumen igual o mayor de la masa actualmente regulada. Sobre esto, tendríamos una franja utilizable mucho más grande, por determinar, de lo que denominamos excedentes.

## UMBRALES MÍNIMOS COMPROMETIDOS

Los estudios hidrológicos convencionales definen la oferta hídrica, las demandas y, mediante un balance, los márgenes de los usos del agua.

Si tenemos como premisa básica que los compromisos de agua son atendidos en una cuenca no regulada con la persistencia de la oferta al 75 % y que, para sistemas regulados (con reservorios), las coberturas de las demandas se dan al 75 %, es factible, por lo tanto, utilizar mejor el agua. Esto es posible sabiendo que las disponibilidades son superiores a la oferta del 75 % de persistencia, puesto que esa condición significa que, en los sistemas regulados y no regulados, se tendría un colchón lo suficientemente amplio que nos permitirá disponer de mucha agua no aprovechada.

Se tomará como ejemplo la cuenca del río Ica. La oferta hídrica en el valle de Ica está constituida por recursos superficiales que son registrados y por recursos subterráneos que normalmente no son registrados. Los recursos superficiales son:

- (1) no regulados de la cuenca propia (Región Hidrográfica Pacífico), y
- (2) regulados y no regulados provenientes del trasvase del sistema Choclococha (en la cuenca alta del río Pampas, en la Región Hidrográfica Amazonas).



Se dispone de la serie de caudales medios mensuales del río Ica, registrados en la estación hidrométrica La Achirana, correspondientes al periodo 1922 – 2013, longitud 92 años, teniendo como fuentes a:

- (1) años 1922 – 2001: Proyecto Especial Tambo Caracocha (PETACC) – 2001
- (2) años 2002 – 2013: ex Administración Técnica de Río (ATDR) Ica, actualmente ámbito de la Administración Local de Agua (ALA) ICA.

Dicha serie totaliza los aportes tanto de la cuenca propia desde 1922 cuanto de los provenientes del sistema Choclococha a partir de 1960. Se reporta para estos caudales, una media plurianual de 9,86 m<sup>3</sup>/s.

## CONFIABILIDAD Y NATURALIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN HIDROMÉTRICA

Antes de realizar los análisis, se requiere naturalizar la información hidrométrica de la cuenca propia del río Ica. Así, con el retiro de los aportes del sistema Choclococha, se puede proceder a realizar el análisis de la confiabilidad de la información de caudales del río Ica registrada en La Achirana.

La información hidrométrica de La Achirana (de la Junta de Usuarios de La Achirana y disponible en la ALA Ica) tiene la particularidad de que los caudales mayores de 50 m<sup>3</sup>/s corresponden a una apreciación visual o estimación, y no a algún tipo de medición (confiabilidad de la Información Hidrométrica ATA-SWECO, 2000).

Es importante también recordar que en el río Ica —a lo largo de sus casi 95 km— existen 34 bocatomas —entre permanentes, semirústicas y rústicas— ubicadas en ambas de sus márgenes. La capacidad de captación de diseño total de alrededor de 100 m<sup>3</sup>/s estaría reducida en un 50 % por problemas de sedimentación.

Como resultado de la naturalización realizada en la estación La Achirana, la oferta hídrica es la siguiente:

- Río Ica 1922 – 2013: 8,11 m<sup>3</sup>/s y 255,76 MMC
- Sistema Choclococha: 1,81 m<sup>3</sup>/s y 57,08 MMC

## CARACTERIZACIÓN DE LAS DESCARGAS

Las descargas naturalizadas registradas en la estación La Achirana fueron ordenadas para el análisis de frecuencias — con sus valores anuales, mensuales y diarios— con la finalidad de obtener varios resultados, que se enumeran:

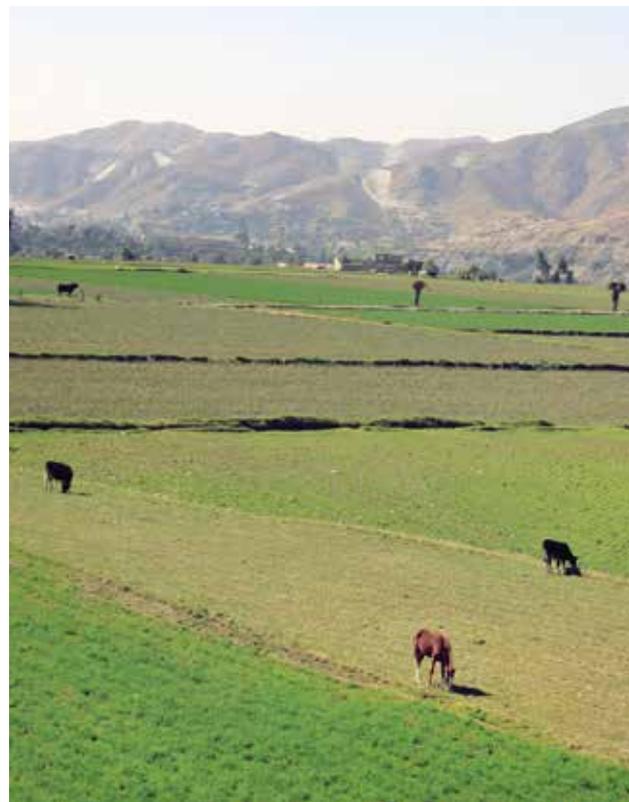
- a. Caracterización de los años, identificando años medios, húmedos y secos
- b. Caracterización de los caudales mensuales como serie única y, también, como series de cada mes individual, principalmente, del grupo de meses del período estacional de avenidas
- c. Caracterización de los caudales diarios de toda la serie y seleccionando los valores estacionales del período de avenidas.
- d. Caracterización de los caudales diarios seleccionados por años para un tramo representativo.

Se ha realizado un análisis previo, orientado a definir el período representativo para el análisis, que permita cubrir las demandas comprometidas, las cuales serán cubiertas con un volumen que se ubique en el tramo del 75 % de persistencia o mayor. Para este análisis, es importante contar con un período lo suficientemente largo a fin de realizar dos tipos de cálculo:

- Definición de los posibles volúmenes de almacenamiento de excedentes
- Simulación corta y rápida del sistema propuesto que incluye nuevas regulaciones.

El tramo que se requiere definir debe estar en la parte seca de la curva de duración, lo cual ha sido determinado para años sucesivos de período representativo.

Se ha procedido también al análisis de frecuencias para un año, dos años, tres años (*tríaños*), cuatro años (*cuatriaños*) y cinco años (*quintiaños*), todos sucesivos, identificando igualmente los períodos correspondientes a la persistencia del 75 %. Esta selección ha permitido, identificar el período al 75 % de excedencia para un año (2011), dos años (1957 – 1958), tres años (1939 – 1941), cuatro años (1962 – 1965) y cinco años (1962 – 1966).



La selección de los años característicos húmedos, medios y secos ha orientado la selección de las series anuales de caudales medios diarios en los tramos secos, lo cual permite definir, como se ha comentado anteriormente, el límite inferior de la franja de volúmenes disponibles.

**CARACTERIZACIÓN DE LOS CAUDALES ANUALES, AGRUPADOS EN PERÍODOS DE 1 A 5 AÑOS CON RETARDO 1**

PROBABILIDAD (%)	ANUAL	BIANUAL	TRIANUAL	CUADRIANUAL	QUINTIANUAL
5	17,43	15,74	14,38	12,85	12,70
10	15,50	13,34	13,52	12,05	12,05
15	13,36	12,78	11,63	11,12	11,17
20	11,87	11,81	10,67	9,89	10,10
30	9,74	9,47	9,44	9,00	9,00
40	8,96	8,46	8,43	7,97	8,00
50	8,01	7,50	7,43	7,50	7,42
60	5,90	6,76	7,43	6,80	6,82
75	4,35	5,22	5,60	6,10	5,86
80	3,30	4,75	5,01	5,90	5,31
90	2,52	3,41	3,78	5,31	4,74
95	2,00	2,50	3,30	4,23	4,23

Los caudales diarios del río Ica —caracterizados a fin de determinar los caudales diarios entre la serie media y la serie seca (75%)— que corresponden a los caudales excedentes serán aquellos que podrán ser aprovechados aguas abajo y, eventualmente, utilizados para recargar el acuífero.

Se ha procedido a seleccionar los años característicos sobre la base de los análisis de frecuencia de las descargas anuales, base para la caracterización de los años y su selección, donde se ha definido que el tramo de tres años es el que tiene menor desviación.

**CARACTERIZACIÓN DE LOS CAUDALES MEDIOS ANUALES, RÍO ICA, ESTACIÓN LA ACHIRANA (1922-2013)**

AÑO	DESCARGA QMA	OCURRENCIA
	(m <sup>3</sup> /s)	(%)
1933	17,43	5 (ext. húmedo)
1938	10,75	25 (húmedo)
1977	8,01	50 (medio)
2011	4,35	75 (seco)
1969	2,00	95 (ext. seco)
1992	0,15	100 (ext. seco)

La orientación del análisis, agrupando los años de registro, facilita el análisis puesto que la forma de agruparse los valores será absolutamente aleatoria, juntándose años secos con años que pueden ser también secos o húmedos, con una recurrencia que amplifica la secuencia de años y fija con menores fluctuaciones un período con una persistencia a seleccionar.

Así, con un análisis de frecuencias, podremos igualmente realizar la selección con las persistencias de trabajo. Para el caso presente, se seleccionarán varios años agrupados que, en conjunto, cumplan con el 75 % de persistencia.

Se podrá ahora seleccionar el período vinculado con la persistencia escogida, que para este caso corresponde al período 1939-1941. En vista de que el período de avenidas es muy marcado en el río Ica, se procederá a realizar el análisis de frecuencias con los caudales diarios para toda la serie y para el grupo trianual representativo, considerando solo el periodo estacional de enero a abril.

El período importante es el que corresponde a los meses de enero a abril. Por ello, se ha caracterizado los caudales al 75 % tanto para la serie total (es decir, el período 1922 – 2013) cuanto para el grupo trienal (de 1929 a 1931) para el mencionado período estacional.

**CARACTERIZACIÓN DE LOS CAUDALES DIARIOS,  
ANÁLISIS PERÍODO ESTACIONAL**

PERIODO TOTAL 1922- 2013				
	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL
PROBABILIDAD (%)	Q (m <sup>3</sup> /s)			
5	60,67	105,9	119,56	40,34
10	43,35	83,26	89,14	31,06
25	22,01	45,27	47,3	17,09
50	8,71	19,96	23,83	8,05
75	0,79	6,9	9,92	3,5
90	0	1	3,25	0,4
100	0	0	0	0

**CARACTERIZACIÓN DE LOS CAUDALES DIARIOS,  
ANÁLISIS PERÍODO ESTACIONAL**

TRIAÑO 1939 - 1941				
	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL
PROBABILIDAD (%)	Q (m <sup>3</sup> /s)			
5	35,75	84,5	105,5	22,25
10	23,5	64,18	68,5	19,25
25	16,13	35,5	36,75	13,5
50	7,38	10,75	21,88	0
75	0,5	3,7	2,93	0
90	0	0,6	0,35	0
100	0	0	0	0

CAUDALES Y VOLÚMENES DISPONIBLES: LÍMITE SUPERIOR = caracterización caudales diarios período 1922-2013  
LÍMITE INFERIOR = caracterización para el triaño 1939-41

	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL		ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	TOTAL
PROB. (%)	Q (m <sup>3</sup> /s)				PROB. (%)	Q (MMC)				MMC
5	24,92	21,4	14,06	18,09	5	66,75	57,32	37,66	48,45	210,17
10	19,85	19,08	20,64	11,81	10	53,17	51,10	55,28	31,63	191,18
25	5,88	9,77	10,55	3,59	25	15,75	26,17	28,26	9,62	79,79
50	1,33	9,21	1,95	8,05	50	3,56	24,67	5,22	21,56	55,01
75	0,34	3,2	6,99	3,5	75	0,91	8,57	18,72	9,37	37,58
90	0	0,4	2,9	0,4	90	0	1,07	7,77	1,07	9,91
100	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0

Revisaremos ahora los caudales del trío de años representativo, 1939 - 1941, y su correspondiente caracterización. En las tablas anteriores, tenemos los valores disponibles para la serie representativa correspondiente al trío de años caracterizado en la serie al 75 %, con su caracterización probabilística, producto del análisis de frecuencias de los valores diarios estacionales.

## RESULTADOS

Analizando los cuadros de volúmenes, podremos observar que existen los siguientes resultados:

- El mes con mayor volumen sobrante es marzo con una probabilidad del 10 %, lo cual significa una ocurrencia cada diez años de un volumen sobrante igual o superior de 55,28 MMC.
- El año con mayor volumen sobrante corresponde a la probabilidad de 5 %, lo cual significa que, en uno de cada veinte años, se presentaría un volumen sobrante igual o mayor de 210 MMC.

En resumen, los valores resultantes anuales son como sigue:

- Tres de cada cuatro años presentarán un volumen sobrante, igual o mayor de 38 MMC
- Uno de cada dos años presentará un volumen sobrante igual o superior de 55 MMC
- Uno de cada cuatro años presentará un volumen igual o superior a 80 MMC
- Uno de cada diez años presentará un volumen sobrante igual superior a 190 MMC
- Uno de cada veinte años presentará un volumen sobrante igual o superior a 210 MMC

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Dado que los resultados obtenidos en los estudios orientan a la definición de 55 MMC como volumen sobrante para el período estacional, con una probabilidad del 50 % de ocurrencia, lo más factible es que se disponga de volúmenes similares dejando un año.



Este análisis, de característica sui géneris, abre una gran posibilidad en la identificación de los volúmenes sobrantes. La adecuada ejecución de los procedimientos dará como resultado volúmenes que, de acuerdo al orden de magnitud, permitirán anticipar su aprovechamiento con un sentido de optimización de los recursos hídricos. Como es sabido para el caso de Ica y de muchos otros valles, estos recursos son muy escasos; por ello, no se debe desaprovechar la oportunidad que nos brinda la naturaleza de obtener, donde no se esperaba, beneficios reales e importantes.

Es importante mantener un control permanente de las descargas. Este control nos ofrecerá las posibilidades de verificar la existencia de estos volúmenes, comprobando los cálculos, que son definitivamente especulativos y que requerirán de confirmaciones, como todo valor dado en hidrología que se apoya en probabilidades de ocurrencia.

Las consideraciones vertidas en este estudio podrán ser el inicio de futuros análisis que permitan una observación y empleo efectivos de los volúmenes sobrantes que, aunque nos parezcan que no existen, constituyen una realidad que está frente a nosotros y no aprovechamos debidamente.