Nota técnica

El uso de la disponibilidad relativa de agua como indicador en la cuenca del río San Pedro, México

• Eduardo Sánchez-Ortiz •
Instituto Politécnico Nacional, México

Resumen

La evaluación de la disponibilidad de agua en una cuenca realizada únicamente mediante la obtención del volumen disponible no es suficiente para el establecimiento de los criterios administrativos que puedan llevar a resolver la condición de sobreexplotación del recurso. El uso de indicadores tales como la disponibilidad relativa permite generar medidas de sensibilidad en los balances proyectados, a fin de evaluar tendencias e identificar sus causas. Aquí se presenta un ejercicio realizado con estos criterios para la cuenca del río San Pedro en la Región Hidrológica 11 de México, en el cual es posible identificar las variaciones de la condición de las subcuencas que la componen en un balance hidrológico de agua superficial realizado por mes, y proyectado a 10 y 20 años.

Palabras clave: disponibilidad, disponibilidad relativa de agua, cuencas, balance hidrológico, río San Pedro, Región Hidrológica 11, Norma Oficial Mexicana, NOM-011-CONAGUA-2000.

Introducción

La disponibilidad anual del recurso agua determinada mediante el balance hidrológico refleja el estado general del comportamiento hidrológico natural de la cuenca en relación con las actividades humanas, proveyendo de una evaluación que califica en un periodo de un año el estado promedio de dicha relación.

Al evaluar la disponibilidad de agua de una cuenca de acuerdo con la metodología establecida por la NOM-011-CONAGUA-2000, se obtiene un valor numérico que indica el volumen de agua disponible, este valor tiene una importancia relativa en relación con las condiciones naturales de la cuenca, dependiendo de ellas es más o menos importante dicho volumen, pero con el solo valor no es posible tener la sensibilidad de la real condición, y el comportamiento de la oferta y la demanda dentro de la cuenca, esto se agudiza al acercarse al cero, pues en esos casos la imprecisión de los datos que dan origen al balance puede ser mayor al dato de disponibilidad arrojado; por tanto, es incierto si el valor es realmente positivo o realmente negativo.

Dado que el balance anual no refleja las diversas condiciones de variabilidad que se presentan durante el transcurso del año y que en una aproximación más fina permiten describir con detalle las condiciones internas de la cuenca y amplían la visión del investigador hacia las razones, a veces ocultas, que permiten explicar diversos fenómenos que no son perceptibles en ese periodo de tiempo, es necesario realizar balances en periodos más cortos, como trimestrales o mensuales.

La publicación más reciente de la disponibilidad de la cuenca del río San Pedro (CRSP) aparece en el *Diario Oficial de la Federación* del jueves 10 de enero de 2008 (cuadro 1).

Cuadro 1. Disponibilidad publicada en el *Diario Oficial de la Federación* del jueves 10 de enero de 2008. Región Hidrológica 11 Presidio-San Pedro. Porción de la región hidrológica que comprende el río San Pedro. Cuadro resumen de valores de los términos que intervienen en el cálculo de la disponibilidad superficial

Cuenca hidrológica	Nombre y descripción	Cp	Ar	Uc	R	Im	Ex	Ev	Av	Ab	Rxy	Ab - Rxy	D	Clasificación
I	Laguna de Santiaguillo	129.66	0.00	8.38	0.00	0.00	0.00	84.30	0.00	36.99	0.00	36.99	36.99	Disponibilidad
II	La Tapona	114.50	0.00	2.82	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	111.68	0.00	111.68	111.68	Disponibilidad
III	Río La Sauceda	129.11	0.00	15.97	0.00	0.00	0.00	33.63	3.96	75.55	24.99	50.56	50.56	Disponibilidad
IV	Río El Tunal	139.41	0.00	0.30	0.00	0.00	0.00	7.18	1.53	130.40	43.13	87.27	87.27	Disponibilidad
V	Río Santiago Bayacora	83.40	0.00	23.83	0.00	0.00	0.00	7.13	-0.02	52.46	17.35	35.11	35.11	Disponibilidad
VI	Río Durango	98.60	258.41	96.97	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	260.05	21.11	238.93	238.93	Disponibilidad
VII	Río Poanas	58.08	0.00	35.38	0.00	0.00	0.00	5.45	1.45	15.80	1.28	14.52	14.52	Disponibilidad
VIII	Río Suchil	35.53	0.00	12.87	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	22.66	1.84	20.82	20.82	Disponibilidad
IX	Río Graseros	11.73	0.00	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11.59	0.94	10.65	10.65	Disponibilidad
X	Río San Pedro-Mezquital	2 343.65	310.10	14.78	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2 638.97	200.69	2 438.28	2 438.28	Disponibilidad
XI	Río San Pedro	272.99	2 638.97	221.46	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2 690.51	0.00	2 690.51	2 690.51	Disponibilidad
Totales		**3 416.69**		**432.90**	**0.00**	**0.00**	**0.00**				**137.69**	**6.92**	**2 839.18**	**Disponibilidad**

Valores en millones de metros cúbicos

Ecuaciones

$Ab = Cp + Ar + R + Im - (Uc + Ev + Ex + Av)$

$D = Ab - Rxy$

Simbología

Cp = volumen medio anual de escurrimiento natural.
Ar = volumen medio anual de escurrimiento desde la cuenca aguas arriba.
Uc = volumen anual de extracción de agua superficial.
R = volumen anual de retornos.
Im = volumen anual de importaciones.
Ex = volumen anual de exportaciones.
Ev = volumen anual de evaporación en embalses.
Av = volumen anual de variación de almacenamiento en embalses.
Ab = volumen medio anual de escurrimiento de la cuenca hacia aguas abajo.
Rxy = volumen anual actual comprometido aguas abajo.
D = disponibilidad media anual de agua superficial en la cuenca hidrológica.
EH = estación hidrométrica.

Esta publicación se hace a partir de los resultados obtenidos del *Estudio para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales superficiales en las cuencas de las regiones hidrológicas 10 y 11, Pacífico Norte*, que realizó el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) en 2005 (Conagua-IMTA, 2005), con una distancia de unos tres años entre la actualización y la publicación.

Es notorio que en la publicación oficial se califica a todas las subcuencas con disponibilidad siempre y cuando el volumen medio anual de escurrimiento aguas debajo de la cuenca sea mayor al volumen comprometido; así, la diferencia positiva se califica como oficialmente con disponibilidad en dicha subcuenca.

Lo anterior coincide con la metodología de la NOM-011-CNA-2000, donde, en el numeral 4.2.1, establece que la *Disponibilidad media anual de agua superficial en la cuenca hidrológica* se obtiene de restar al *volumen medio anual de escurrimiento de la cuenca hacia aguas abajo* el *volumen anual actual comprometido aguas abajo*. Además, el *volumen medio anual de escurrimiento de la cuenca hacia aguas abajo* se obtiene de la suma del *volumen medio anual de escurrimiento desde la cuenca aguas arriba*, el *volumen anual de escurrimiento natural*, el *volumen anual de retornos* y el *volumen anual de importaciones*, a los cuales se les restan el *volumen anual de exportaciones* y el *volumen anual de extracción de agua superficial*. Bajo estos criterios, la determinación de disponibilidad publicada se hizo conforme a la norma oficial mexicana.

Sin embargo, es pertinente preguntarse, ¿qué ocurre cuando el valor de disponibilidad es muy pequeño?, ¿hasta dónde los datos empleados soportan la incertidumbre de medición para saber si existe o no disponibilidad en una cuenca?, ¿qué tanto influyen algunos supuestos en materia de hidrología subterránea o superficial que son obligados debido a la carencia de información de mediciones de la extracción de caudales subterráneos o de caudales superficiales?, ¿qué tanta imprecisión existe en los valores donde la evaporación no es profusamente medida?

Ante ello existe un cierto grado de incertidumbre en la determinación de la disponibilidad debido al obligado empleo de datos, en ocasiones imprecisos, promedios o datos refinados por métodos estadísticos; al uso de coeficientes que tratan de describir los procesos de infiltración y escurrimiento; o bien al uso de datos de los volúmenes utilizados que carecen de una evaluación precisa debido a la muy baja cobertura de la medición. Así, la incertidumbre crece en tanto la disponibilidad es proporcionalmente más cercana a cero; sin embargo, el resultado obtenido en estas condiciones es la mejor descripción posible de la condición de la cuenca.

En ocasiones, los hidrólogos de la Comisión Nacional del Agua (Conagua) y del IMTA han empleado en sus estudios un mecanismo bastante útil para afinar la percepción de la condición de la cuenca, además de la diferencia algebraica de los volúmenes, la cual consiste en determinar la proporción entre el *volumen medio anual de escurrimiento de la cuenca hacia aguas abajo* y el *volumen anual actual comprometido aguas abajo*; es decir, la determinación de la disponibilidad relativa similar a la forma que se emplea en irrigación (Levine, 1999).

En la metodología de la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2000 (Conagua, 2000) no se especifica el uso de este indicador ni sus criterios; sin embargo, resulta de gran utilidad al evaluar el comportamiento de la cuenca, proporcionando una mayor sensibilidad y aún más cuando se evalúa en periodos cortos de tiempo, mensual, por ejemplo.

Metodología

Ante la complejidad que puede resultar del análisis de la dinámica del agua para la descripción del comportamiento hidrológico, el análisis se basó en el concepto de escurrimiento natural, definido como el volumen medio anual de agua superficial que

se capta por la red de drenaje natural de la propia cuenca hidrológica (Conagua, 2000).

Al evaluar el escurrimiento en el tiempo se obtiene un volumen que permitirá determinar la disponibilidad media anual de agua superficial en una cuenca hidrológica, como el "Valor que resulta de la diferencia entre el volumen medio anual de escurrimiento de una cuenca hacia aguas abajo y el volumen actual comprometido aguas abajo" (Conagua, 2000). Es decir, que la disponibilidad media anual es igual a la diferencia del volumen medio anual de escurrimiento menos el volumen actual comprometido aguas abajo.

Así, el volumen medio anual de escurrimiento de la cuenca hacia aguas abajo será producto de la suma de los volúmenes medio anual de escurrimiento desde la cuenca aguas arriba más el escurrimiento natural, los retornos generados e importaciones, a los que se les restan los volúmenes anual de exportaciones y extracciones determinados conforme a la NOM-011-CNA-2000.

La información de la disponibilidad media anual y el volumen escurrido medio anual proporciona una descripción general de la dinámica del agua en la cuenca, convirtiéndose en una característica particular de cada subcuenca. Para abordar esta propuesta relacionada con el río San Pedro, se emplearon los datos mensuales, a fin de generar el balance por cada mes a lo largo del año.

El concepto de disponibilidad relativa empleado se puede definir como la razón entre la disponibilidad y la demanda total humana y natural; bajo los criterios usuales, se califica como déficit una disponibilidad relativa menor a 1.4; de 1.4 a 3.0, se califica como equilibrio; de 3.0 a 9.0 como disponibilidad o disponible, y mayor a 9 como abundancia.

Resultados

A partir de los datos hasta 2009 de precipitación, escurrimiento y usos del agua en la cuenca del río San Pedro, y aplicando la metodología descrita, se obtienen los resultados que se aprecian en el cuadro 2.

El balance anual con los mismos datos arroja resultados de disponibilidad relativa (cuadro 3).

Haciendo la prospectiva hacia el año 2020 mediante la proyección de los datos de la demanda bajo un escenario donde se mantenga el *status quo* de la tecnología empleada y las eficiencias alcanzadas, se obtienen los datos que se aprecian en el cuadro 4.

Bajo los mismos criterios para el año 2030, se tiene lo que muestra el cuadro 5.

Discusión

Es casi la totalidad de las subcuencas, en los meses de febrero a mayo existen condiciones de déficit, el cual se reduce al presentarse la temporada de lluvias y reaparece a partir de octubre una vez finalizada; sin embargo, lo realmente notorio es que la condición de la disponibilidad relativa se agrava con el transcurso del tiempo al año 2030, en particular para los meses de noviembre, diciembre y enero, en las subcuencas Tunal, Santiago Bayacora y Durango, que son las de mayor presión en cuanto a los usos del agua. Además, las subcuencas La Sauceda y Santiago Bayacora pasan de la condición de equilibrio en 2009 y 2020 en el mes de junio, a una condición de déficit en el año 2030.

Conclusiones

Como puede observarse, mediante con un sencillo análisis es posible describir el comportamiento de cada subcuenca y pasar a interpretaciones más detalladas, buscando los indicadores específicos en las que reflejan estas condiciones de variabilidad; con ello se pueden establecer estrategias para atender la tendencia de degradación a que están sometidas, pero la parte útil es que los datos se vuelven más comprensibles que empleando sólo el volumen arrojado por la disponibilidad en la cuenca, dado que permite analizar la sensibilidad

Cuadro 2. Disponibilidad relativa de la cuenca del río San Pedro analizada con datos mensuales.

2009	A Laguna de Santiaguillo	B La Tapona	C La Sauceda	D El Tunal	E Santiago Bayacora	F Durango	G Poanas	H Suchil	I Graceros	J San Pedro Mezquital	K San Pedro Desembocadura
Enero	Déficit	Abundancia	Déficit	Equilibrio	Equilibrio	Equilibrio	Equilibrio	Equilibrio	Disponibilidad	Disponibilidad	Disponibilidad
Febrero	Déficit	Disponibilidad	Déficit	Déficit	Déficit	Déficit	Déficit	Déficit	Equilibrio	Equilibrio	Equilibrio
Marzo	Déficit	Equilibrio	Déficit	Déficit	Déficit	Déficit	Déficit	Déficit	Déficit	Déficit	Déficit
Abril	Déficit	Equilibrio	Déficit	Déficit	Déficit	Déficit	Déficit	Déficit	Disponibilidad	Disponibilidad	Disponibilidad
Mayo	Déficit	Disponibilidad	Déficit	Déficit	Déficit	Déficit	Déficit	Déficit	Déficit	Déficit	Equilibrio
Junio	Déficit	Abundancia	Equilibrio	Equilibrio	Equilibrio	Disponibilidad	Disponibilidad	Equilibrio	Abundancia	Abundancia	Abundancia
Julio	Disponibilidad	Abundancia	Disponibilidad	Disponibilidad	Disponibilidad	Disponibilidad	Abundancia	Disponibilidad	Abundancia	Abundancia	Abundancia
Agosto	Disponibilidad	Abundancia	Disponibilidad	Disponibilidad	Equilibrio	Disponibilidad	Abundancia	Disponibilidad	Abundancia	Abundancia	Abundancia
Septiembre	Disponibilidad	Abundancia	Equilibrio	Equilibrio	Equilibrio	Disponibilidad	Disponibilidad	Disponibilidad	Abundancia	Abundancia	Abundancia
Octubre	Déficit	Abundancia	Equilibrio	Equilibrio	Equilibrio	Disponibilidad	Disponibilidad	Disponibilidad	Abundancia	Abundancia	Abundancia
Noviembre	Déficit	Abundancia	Déficit	Equilibrio	Déficit	Equilibrio	Equilibrio	Equilibrio	Disponibilidad	Disponibilidad	Disponibilidad
Diciembre	Déficit	Abundancia	Déficit	Equilibrio	Equilibrio	Equilibrio	Equilibrio	Equilibrio	Disponibilidad	Disponibilidad	Disponibilidad

Cuadro 3 Disponibilidad relativa de la cuenca del río San Pedro analizada con datos anualizados.

A Laguna de Santiaguillo	B La Tapona	C La Sauceda	D El Tunal	E Santiago Bayacora	F Durango	G Poanas	H Suchil	I Graceros	J San Pedro Mezquital	K San Pedro Desembocadura
Déficit	Abundancia	Equilibrio	Equilibrio	Equilibrio	Disponibilidad	Disponibilidad	Equilibrio	Abundancia	Abundancia	Abundancia

Cuadro 4. Disponibilidad relativa mensual en la Cuenca del Río San Pedro analizada con datos proyectados al 2020.

2020	A Laguna de Santiaguillo	B La Tapona	C La Sauceda	D El Tunal	E Santiago Bayacora	F Durango	G Poanas	H Suchil	I Graceros	J San Pedro Mezquital	K San Pedro Desembocadura
Enero	Déficit	Abundancia	Déficit	Déficit	Déficit	Déficit	Equilibrio	Equilibrio	Disponibilidad	Disponibilidad	Disponibilidad
Febrero	Déficit	Disponibilidad	Déficit	Déficit	Déficit	Déficit	Déficit	Déficit	Equilibrio	Equilibrio	Equilibrio
Marzo	Déficit	Equilibrio	Déficit	Déficit	Déficit	Déficit	Déficit	Déficit	Déficit	Déficit	Déficit
Abril	Déficit	Equilibrio	Déficit	Déficit	Déficit	Déficit	Déficit	Déficit	Disponibilidad	Disponibilidad	Disponibilidad
Mayo	Déficit	Disponibilidad	Déficit	Déficit	Déficit	Déficit	Déficit	Déficit	Déficit	Déficit	Equilibrio
Junio	Déficit	Abundancia	Equilibrio	Equilibrio	Equilibrio	Equilibrio	Disponibilidad	Equilibrio	Abundancia	Abundancia	Abundancia
Julio	Disponibilidad	Abundancia	Disponibilidad	Disponibilidad	Disponibilidad	Disponibilidad	Abundancia	Disponibilidad	Abundancia	Abundancia	Abundancia
Agosto	Disponibilidad	Abundancia	Equilibrio	Disponibilidad	Equilibrio	Disponibilidad	Abundancia	Disponibilidad	Abundancia	Abundancia	Abundancia
Septiembre	Disponibilidad	Abundancia	Equilibrio	Disponibilidad	Equilibrio	Disponibilidad	Abundancia	Disponibilidad	Abundancia	Abundancia	Abundancia
Octubre	Déficit	Abundancia	Equilibrio	Equilibrio	Equilibrio	Disponibilidad	Disponibilidad	Disponibilidad	Abundancia	Abundancia	Abundancia
Noviembre	Déficit	Abundancia	Déficit	Déficit	Déficit	Déficit	Equilibrio	Equilibrio	Disponibilidad	Disponibilidad	Disponibilidad
Diciembre	Déficit	Abundancia	Déficit	Déficit	Déficit	Déficit	Equilibrio	Equilibrio	Disponibilidad	Disponibilidad	Disponibilidad

Cuadro 5. Disponibilidad relativa en la cuenca del río San Pedro analizada con datos proyectados al 2030.

2030	A Laguna de Santiaguillo	B La Tapona	C La Sauceda	D El Tunal	E Santiago Bayacora	F Durango	G Poanas	H Suchil	I Graceros	J San Pedro Mezquital	K San Pedro Desembocadura
Enero	Déficit	Abundancia	Déficit	Déficit	Déficit	Déficit	Equilibrio	Equilibrio	Disponibilidad	Disponibilidad	Disponibilidad
Febrero	Déficit	Disponibilidad	Déficit	Déficit	Déficit	Déficit	Déficit	Déficit	Equilibrio	Equilibrio	Equilibrio
Marzo	Déficit	Equilibrio	Déficit	Déficit	Déficit	Déficit	Déficit	Déficit	Déficit	Déficit	Déficit
Abril	Déficit	Equilibrio	Déficit	Déficit	Déficit	Déficit	Déficit	Déficit	Disponibilidad	Disponibilidad	Disponibilidad
Mayo	Déficit	Disponibilidad	Déficit	Déficit	Déficit	Déficit	Déficit	Déficit	Déficit	Déficit	Equilibrio
Junio	Déficit	Abundancia	Déficit	Equilibrio	Déficit	Equilibrio	Disponibilidad	Equilibrio	Abundancia	Abundancia	Abundancia
Julio	Disponibilidad	Abundancia	Disponibilidad	Disponibilidad	Equilibrio	Disponibilidad	Abundancia	Disponibilidad	Abundancia	Abundancia	Abundancia
Agosto	Disponibilidad	Abundancia	Equilibrio	Disponibilidad	Equilibrio	Disponibilidad	Abundancia	Disponibilidad	Abundancia	Abundancia	Abundancia
Septiembre	Disponibilidad	Abundancia	Equilibrio	Disponibilidad	Equilibrio	Disponibilidad	Abundancia	Disponibilidad	Abundancia	Abundancia	Abundancia
Octubre	Déficit	Abundancia	Equilibrio	Equilibrio	Equilibrio	Equilibrio	Disponibilidad	Disponibilidad	Abundancia	Abundancia	Abundancia
Noviembre	Déficit	Abundancia	Déficit	Déficit	Déficit	Déficit	Equilibrio	Equilibrio	Disponibilidad	Disponibilidad	Disponibilidad
Diciembre	Déficit	Abundancia	Déficit	Déficit	Déficit	Déficit	Equilibrio	Equilibrio	Disponibilidad	Disponibilidad	Disponibilidad

de las mismas a la presión del uso y además permite absorber en alguna medida las imprecisiones de la información de origen, en particular cuando los datos de disponibilidad obtenidos son cercanos a cero tanto negativos como positivos.

Recibido: 01/12/2011
Aceptado: 07/04/2013

Referencias

CONAGUA. *NOM-011-CONAGUA-2000 Conservación del recurso agua, Que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales*. México, D.F.: Comisión Nacional del Agua, 2000.

CONAGUA-IMTA. *Estudio para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales superficiales en las cuencas de las regiones hidrológicas 10 y 11, Pacífico Norte*. México, D.F.: Comisión Nacional del Agua, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 2005.

LEVINE, G. *Entendiendo el comportamiento del riego: la disponibilidad relativa del agua como variable explicativa*. Serie Latinoamericana 6. México, D.F.: IWMI, 1999.

Abstract

SÁNCHEZ-ORTIZ, E. The relative availability of water as an indicator in the San Pedro River basin, Mexico. Water Technology and Sciences *(in Spanish). Vol. IV, No. 5, November-December, 2013, pp. 199-206.*

Assessing the availability of water in a basin solely by obtaining the volume available is not sufficient to establish management criteria to aid in solving overexploitation. The use of indicators such as relative availability makes it possible to generate sensitivity measurements for projected balances, in order to assess trends and identify causes. This work describes an exercise using these criteria for the San Pedro River Basin in Hydrologic Region 11 in Mexico, in which it was possible to identify changes in the conditions of the sub-basins, including the monthly surface water balance and 10 and 20 year projections.

Keywords*: availability, relative water availability, hydrological balance, basins, San Pedro River, Hydrologic Region 11, Mexican Official Standard, NOM-011-CONAGUA-2000.*

Dirección institucional del autor

Dr. Eduardo Sánchez Ortiz

Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Durango, del Instituto Politécnico Nacional (CIIDIR-IPN Unidad Durango)
Calle Sigma 119, Fraccionamiento 20 de Noviembre II
34220 Durango, Durango, MÉXICO
Teléfono: +52 (618) 8142 091, extensión 82630
esanchezo@ipn.mx