A dark blue vertical bar on the left side of the page. A blue arrow-shaped graphic points to the right from the bar, containing the date.

15-12-2023

Determinación de los umbrales de sequía para los sectores eléctrico y de recursos hídricos

Centro Internacional de Investigación del Fenómeno de El Niño:
Nota Técnica 2

A decorative graphic consisting of several thin, curved lines in shades of blue and grey, resembling stylized waves or grass, located in the bottom left corner.

Mario López Pérez

CONSULTOR SENIOR EN RECURSOS HÍDRICOS Y CAMBIO CLIMÁTICO

Índice

Antecedentes

Conceptos básicos del monitoreo de la sequía

El monitoreo de la sequía

Los umbrales de sequía.

Metodología para determinar los umbrales de sequía para el sector eléctrico y recursos hídricos para los países del OSA.

Protocolo sugerido para la implementación de los umbrales de sequía en el marco de la gestión de riesgos por sequía.

Ejemplo de umbrales de sequía y su aplicación en México

Recomendaciones

Antecedentes

Del 28 de noviembre al 1 de diciembre de 2022, en Guayaquil Ecuador se llevó a cabo la reunión de cierre del marco del Proyecto EuroClima+ “Fortalecimiento de los sistemas nacionales y regional de monitoreo y gestión de riesgos de la sequía e inundaciones en un contexto de cambio climático y desertificación en los países andinos”, correspondiente a la componente 2 sobre “Fortalecer los sistemas nacionales para la gestión de los riesgos de desastres por sequías e inundaciones”. En dicha reunión se presentaron los avances en la elaboración de los monitores nacionales de Bolivia, Chile, Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela, así como la propuesta de desarrollar el Monitor Regional de Sequías del Oeste de Sudamérica (OSA) y eventualmente el de toda América del Sur.

La condición actual de los monitores nacionales es que el de Chile y el de Bolivia son operados directamente por la Dirección Meteorológica y el INAMHI respectivamente. El de Colombia dejó de funcionar en la página del IDEAM con el cambio de administración nacional y hoy es desarrollado y enviado a ese país por el CIIFEN. Esto mismo ocurrió con el monitor de Venezuela. En el caso de Ecuador, es corrido por el CIIFEN y puesto a disposición de INAMHI. El monitor de Perú es operado por CIIFEN dada la negativa de aceptarlo por la pasada administración del SENAMHI. Esto ha cambiado con la nueva titular de esta institución, quien ha manifestado el apoyo para el mejoramiento de este con los productos internos desarrollados y lo que el CIIFEN adicionalmente aporte.

Así, en el marco del proyecto ENANDES se desarrolla en el componente 2. Coordinación institucional para facilitar la adaptación de información, productos y servicios a necesidades de usuarios, la actividad de apoyo a los Monitores Nacionales. Las actividades específicas de este son:

- a. Orientar y recomendar las acciones para los monitores nacionales de los países interesados en mejorar su resolución mediante la ampliación del número de indicadores, uso de estaciones de tierra adicionales e información de voluntarios, con el apoyo de CIIFEN.
- b. Orientar el trabajo de los voluntarios y definir la manera en que sus observaciones se utilizarán para la validación del monitor de sequía.
- c. Orientar las discusiones para alcanzar acuerdos que definan los umbrales para las alertas o nivel de afectaciones. Los umbrales son diferentes para cada sector y para el proyecto ENANDES+ se han priorizados los sectores agricultura, energía, agua y gestión de riesgos que deberán ser considerados por el consultor.

En particular para esta Nota Técnica se detallan los avances globales de esta última actividad específicamente sobre umbrales de sequía para generación de energía eléctrica.

Cabe señalar que la actividad general de apoyo a los monitores nacionales de sequía se ha retomado en el marco del nuevo proyecto ENANDES+ (antes Núcleo de expertos regional -

NUREX) en la componente *South South Twining* (SST) de monitoreo de amenazas con prioridad a la sequía.

Conceptos básicos del monitoreo de la sequía

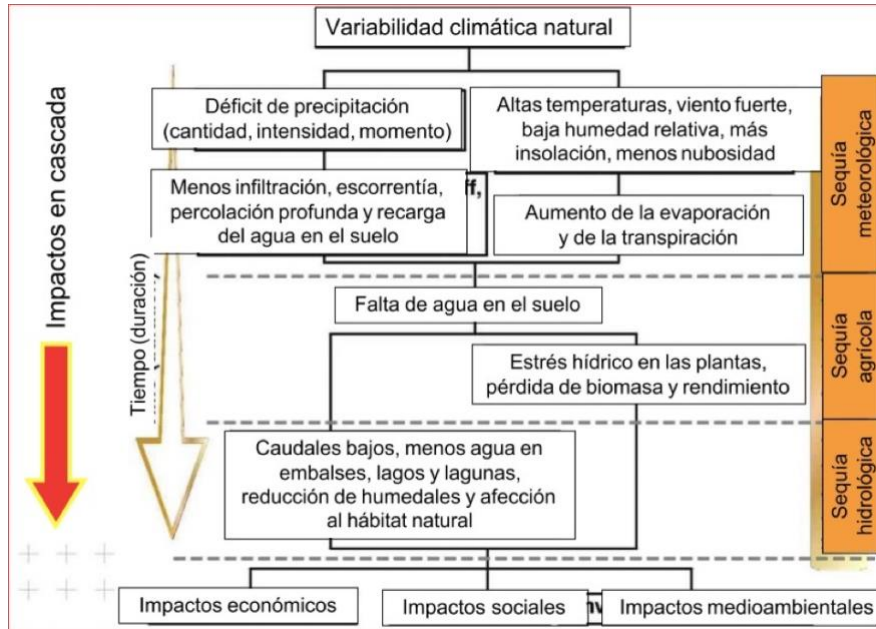
La sequía es una anomalía transitoria que se caracteriza por la escasez temporal de agua, en comparación con el suministro normal, en un período de tiempo dado (una estación, un año, o varios años).

La sequía es un fenómeno recurrente del clima y depende de la lluvia que impacta a la demanda de la sociedad y el medio ambiente. Las sequías difieren según la magnitud, duración e intensidad.

De acuerdo con el tiempo que dure la ausencia de la lluvia se manifiestan distintos efectos en el medio ambiente y en la demanda de agua por lo que a partir de ellos se definen los distintos tipos de sequía (Figura 1):

- Sequía meteorológica: se produce cuando existe una escasez continua de precipitaciones pluviales. La escasez de precipitaciones se relaciona con el comportamiento del sistema océano-atmósfera, donde influyen tanto factores naturales como factores antrópicos (cambio climático por los efectos de los gases de efecto invernadero). La sequía meteorológica está vinculada cada región específica, ya que las condiciones atmosféricas son muy variables de una región a otra.
- Sequía agrícola: ocurre cuando la ausencia de precipitación (sequía meteorológica) se prolonga en tiempo lo que provoca un déficit de humedad en la zona radicular necesaria las necesidades de los cultivos. Por tanto, depende del tipo de cultivo y de la región donde se siembra el cultivo. Por ejemplo, en zonas de cultivos de secano o temporal va muy ligada a una sequía meteorológica de mucho tiempo o simplemente con un pequeño desfase temporal.
- Sequía hidrológica: si la sequía agrícola / meteorológica continua en el tiempo se produce el efecto de que los ríos o los volúmenes embalsados disminuyan y se ubiquen por debajo de lo normal. Esto puede mantenerse meses o años continuos si las lluvias no retornan al poco tiempo o lo hacen en menor cuantía. La sequía hidrológica también puede producirse por los cambios de uso del suelo causantes de escasez de agua (provocada por la demanda) en el ciclo hidrológico.
- Sequía socioeconómica: si la sequía continúa por mucho tiempo y su intensidad es muy significativa, el impacto de la ausencia de agua sobre el medio ambiente y las actividades económicas no agrícolas se vuelve manifiesta. El efecto de la sequía socioeconómica se ve exacerbada por una creciente presión de la demanda de agua que incide en las pérdidas económicas crecientes.

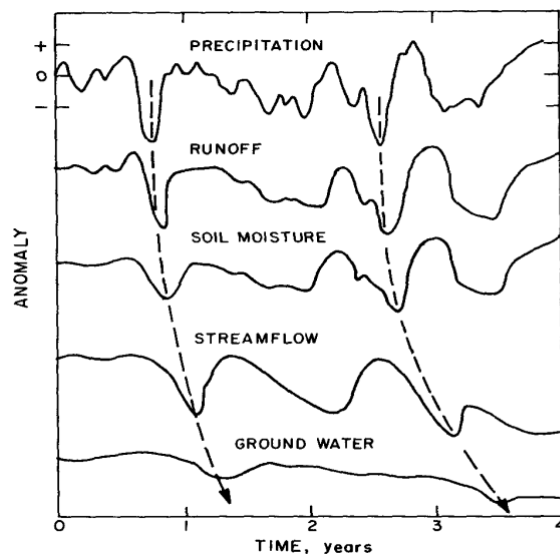
Figura 1. Evolución y tipos de sequía



El desfase temporal en la propagación de la anomalía de la precipitación en los diferentes niveles del ciclo hidrológico puede tardar horas, días, semanas, meses o años dependiendo de la topografía, geología, hidrogeología y gestión de los recursos hídricos (Figura 2).

La capacidad de gestionar los recursos hídricos puede hacer que la sequía hidrológica no dependa solamente de la cantidad de agua almacenada existente, sino que también sea determinante en la forma en que se emplea el agua almacenada.

Figura 2 Desfase temporal de la anomalía de precipitación

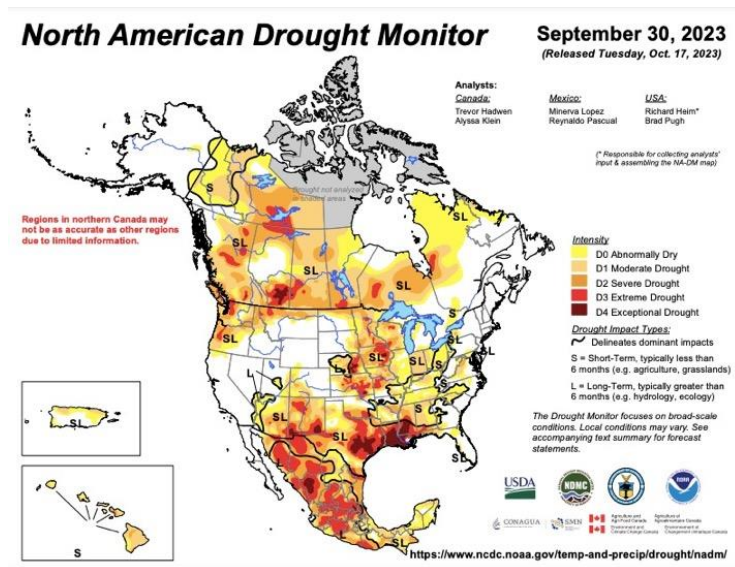


El monitoreo de la sequía

Las condiciones de sequía son determinadas mediante la implementación de sistemas de monitoreo que proporcionan información oportuna a los responsables de la toma de decisiones y al público en general.

A nivel nacional y regional existen diversos sistemas de monitoreo de la sequía, los cuales iniciaron de manera sistemática a partir de la medición e indicadores de la precipitación (sequía meteorológica). Los Estados Unidos de América (EUA) iniciaron a fines del siglo pasado el desarrollo un complejo pero eficiente e innovador sistema de monitoreo basado en un índice compuesto¹ y un portal para la publicación de los reportes de impacto de sequía² con contribuciones de voluntarios e instituciones federales, estatales y municipales diversas, además de la participación directa de 2 instituciones nacionales vinculadas a la NOAA, el Departamento de Agricultura y el Centro Nacional de Mitigación de Sequías de la Universidad de Nebraska. Posteriormente, la *European Commission's Joint Research Centre* creó y opera el *European drought observatory* (EDO)³. El esquema de los EUA se extendió a Canadá⁴ y México⁵ con la creación del Monitor de Sequía de Norteamérica, a Brasil⁶ (Monitor da Secas) y algunos países del norte de África⁷ (Figura 3).

Figura 3 El Monitor de Sequía de Norteamérica (NADM)



1 <https://www.drought.gov/data-maps-tools/us-drought-monitor>

2 <https://www.drought.gov/data-maps-tools/drought-impact-reporter-dir>

3 <https://edo.jrc.ec.europa.eu/edov2/php/index.php?id=1000>

4 <https://agriculture.canada.ca/en/agricultural-production/weather/canadian-drought-monitor>

5 <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/monitor-de-sequia/monitor-de-sequia-en-mexico>

6 <https://monitordesecas.ana.gov.br/mapa?mes=11&ano=2023>

7 <https://research.unl.edu/blog/drought-center-collaborates-on-moroccos-drought-index-3/>

En 2022 el CIIFEN inició el proceso de creación de monitores de sequía para los seis países del Oeste de Sudamérica, los cuales están operativos y en proceso de mejora continua utilizando el mismo enfoque de un índice compuesto sobre la base inicial de la integración de 5 indicadores de sequía (meteorológicos y agrícolas).

La Organización Meteorológica Mundial (OMM) realizó una integración de índices e indicadores de sequía que se usan en el mundo y lo publicó en un manual⁸ donde se describen 50 índices que se clasifican por tipo y facilidad de uso, y se agrupan en las siguientes categorías:

- Meteorología (23 índices)
- Humedad del suelo (4 índices)
- Hidrología (8 índices)
- Teledetección (10 índices - vegetación)
- Mixto o modelado (5 índices)
- Gestión integrada de recursos hídricos

Es decir, la evolución en el tiempo de la sequía es posible medirla por medio de estos indicadores. De la misma manera, los indicadores de sequía aplican para los distintos sectores integrados en la gestión del agua y el ciclo hidrológico. Es decir, el índice compuesto tiene la virtud de que permite observar los varios tipos de sequía de acuerdo con el número y tipo de indicadores que integre. En este sentido los indicadores individuales son útiles para tipos de sequía específica y en consecuencia para sectores particulares.

Los umbrales de sequía.

La atención de la sequía es mediante la planificación y políticas públicas orientadas a la elaboración e implementación de planes de prevención y mitigación de la sequía a nivel local, regional y nacional, que incluyen el monitoreo como pilar fundamental y las medidas de ahorro, preservación y eficiencia en el uso del agua, así como la educación y concientización pública y el establecimiento de marcos regulatorios adecuados.

De acuerdo con ello, entre las medidas preventivas para enfrentar la sequía se encuentran la definición de umbrales a partir de los cuales sectores específicos empieza a manifestar impactos o impactos significativos por la presencia de la sequía.

Por ejemplo, no es deseable establecer umbrales de sequía únicos para el sector agrícola bajo riego o temporal/secano porque la cantidad de agua necesaria para cada cultivo es diferente. Asimismo, la ubicación geográfica determina el tipo y variedad de cultivo y en

⁸ https://www.droughtmanagement.info/literature/WMO-GWP_Manual-de-indicadores_2016

consecuencia sus umbrales de afectación por sequía. Los indicadores específicos de sequía agrícola conforme al manual de la OMM pueden ser los de humedad del suelo y los de teledetección (satelitales de salud de la vegetación) complementados con los de sequía meteorológica.

Para energía y recursos hídricos, los indicadores específicos son los indicadores hidrológicos. En cambio, para la gestión de riesgos de desastre lo mejor es un índice compuesto que integre indicadores meteorológicos, agrícolas e hidrológicos dado que los desastres producto de la sequía ocurren en todos los sectores, y el seguimiento y comprensión de la evolución del fenómeno es fundamental para el alertamiento oportuno para reducir los efectos de su impacto.

Vale la pena señalar que los índices compuestos también pueden ser útiles para el alertamiento temprano en complemento de indicadores específicos relevantes para los sectores en función del tipo de sequía de que se trate.

Metodología para determinar los umbrales de sequía para el sector eléctrico y recursos hídricos para los países del OSA.

Dado que la generación de energía hidroeléctrica y la gestión de los recursos hídricos se fundamentan en la cantidad y oportunidad con que los escurrimientos ocurren en las corrientes y son almacenados para ser asignados a los usos o turbinados, esto define el tipo de indicadores de sequía a considerar (Figura 4).

Figura 4 Consideraciones relevantes de los indicadores de sequía hidrológica para la generación de energía y los recursos hídricos⁹

Índice	Facilidad de uso	Parámetros de entrada	Aplicaciones	Punto fuerte	Punto débil	Origen
Índice de sequía hidrológica de Palmer (PHDI)	Regular	Temperatura y precipitación mensuales	Recursos hídricos en escalas temporales prolongadas	Método de balance hídrico es integral	No se tiene en cuenta las decisiones de humanos, como gestión y el riego	USA 1960
Índice normalizado del suministro de embalses (SRSI)	Regular	Caudal afluente mensual de los embalses y sus volúmenes medios de almacenamiento	Abastecimiento de agua y los proveedores locales de riego.	Reproduce los cálculos del SPI con una distribución normalizada gamma	No considera los cambios por la gestión del embalse ni las pérdidas por evaporación	Japon

⁹ https://www.droughtmanagement.info/literature/WMO-GWP_Manual-de-indicadores_2016

Índice normalizado de los caudales fluviales (SSFI).	Regular	valores mensuales de los caudales fluviales y los métodos normalización asociados al SPI	Vigilancia de condiciones hidrológicas en distintas escalas temporales.	Fácil de calcular con el programa del SPI	Contexto del seguimiento de sequías, sin analizar otros factores.	Iran
Índice normalizado del nivel del agua (SWI).	Regular	Niveles de los pozos de agua subterránea.	Zonas con niveles estacionales bajos de flujo en sus ríos y corrientes	Usos agrícolas y municipales	Solo tiene en cuenta el agua subterránea;	India
Índice de sequía de los caudales fluviales (SDI)	Regular	valores mensuales de los caudales fluviales y los métodos normalización asociados al SPI y seriehistórica del limnómetro	Vigilar y detectar episodios de sequía tomando como referencia un limnómetro particular	fácil de conseguir y de utilizar. Admite datos ausentes . examinar varias escalas temporales	No tiene en cuenta las decisiones de gestión, y los períodos sin caudal pueden distorsionar los resultados.	Grecia
Índice del abastecimiento de las aguas superficiales (SWSI).	Regular	Almacenamiento de los embalses, caudales fluviales, manto de nieve y precipitación	Detectar condiciones de sequía asociadas a las fluctuaciones hidrológicas	Indicio de salud hidrológica general de una cuenca o región concreta	cálculos pueden variar entre cuencas, es complicado comparar cuencas o regiones homogénea	USA (Colorado)
Índice agregado de sequía (ADI)	Difícil	Precipitación, evapotranspiración, caudales fluviales, almacenamiento de los embalses, contenido de humedad del suelo y contenido de agua en la nieve.	Permite conocer mejor la disponibilidad de agua que se necesita.	Tiene en cuenta el agua almacenada y la humedad procedente de la precipitación	No tiene en cuenta las temperaturas ni el agua subterránea. Solo sirve si hay todos los datos de entrada	USA (California)
Índice normalizado de la fusión de la nieve y la lluvia (SMRI)	Difícil	Caudales fluviales y datos diarios de la precipitación y la temperatura	Vigilancia de las situaciones de sequía climas fríos a helados	Tiene en cuenta la nieve y las contribuciones futuras a los caudales fluviales	No utilizar los espesores reales de la nieve y la equivalencia en agua de la nieve asociada puede causar errores en las predicciones de la escorrentía	Suiza

Como se señaló anteriormente, la combinación del monitoreo de la sequía a partir del índice compuesto y del (los) indicador(es) hidrológico(es) específico(s) es el enfoque deseado para el monitoreo y definición de los umbrales de sequía y al mismo tiempo aprovechar las capacidades instaladas en los servicios hidrológicos y meteorológicos de los países del OSA.

En este enfoque, donde los monitores de sequía de los países del OSA en la actualidad solamente cuentan con indicadores meteorológicos y agrícolas integrados en un índice compuesto¹⁰ que emite la alerta oportuna con base en rangos de intensidad, representan el inicio del alertamiento para que posteriormente los indicadores hidrológicos que definen con precisión los umbrales particulares realicen el monitoreo y las alertas específicos. La articulación de ambos con un mismo rango de intensidad de sequía o una homologación de rangos de intensidad es el propósito.

Existen varias aproximaciones para la determinación de umbrales de sequía para la generación de energía eléctrica y la gestión de recursos hídricos. Existe bibliografía para casos específicos utilizando métodos estadísticos y modelos hidrológicos para la determinación de umbrales a partir de los cuales se ha determinado los niveles óptimos de operación de embalses hidroeléctricos que eventualmente se integran a los manuales de operación de esta infraestructura. De la misma forma, existen referencias del uso de modelos de asignación de agua a nivel de presa y pocos a nivel de cuenca, sin embargo, hay muy pocos que tienen integrado el concepto de umbral de sequía o rangos de asignación asociados a esta (Figura 5).

Figura 5. Tipo de metodologías para determinar umbrales de sequía

Metodología	Ventajas	Desventajas
Análisis estadístico de lluvias y escurrimientos (probabilístico / determinístico)	Mayor precisión a nivel individual a nivel de presa	Requiere de mucha información histórica Requiere del desarrollo de modelos estadísticos ad hoc a cada caso (presa y/o hidrométrica) No permite el análisis a nivel de cuenca cuando haya varios embalses y múltiples usuarios asociados
Modelación hidrológica a nivel cuenca	Posibilidad de generación de escenarios de ingresos de escurrimientos a las presas o niveles en hidrométricas para la asignación optimizada de agua a los usos incluida la generación de energía hidroeléctrica	Requiere de mucha información histórica y la calibración es compleja o incluso parcial Requiere del desarrollo de modelos ad hoc para cada cuenca (presa y/o hidrométrica)

¹⁰ A futuro los monitores nacionales del OSA incorporarán los indicadores hidrológicos, lo cual representará una ventaja adicional para este enfoque.

<p>Uso de indicadores de sequía hidrológica</p>	<p>Pragmático, rápido y fácil de incorporar a la política de operación de una hidroeléctrica o gestión de recursos hídricos Se vincula al proceso general de alertas de sequía de las autoridades nacionales hidrológicas y meteorológicas y de gestión de riesgos de desastre El uso intensivo de la información hidrometeorológica ya está integrada en el monitor</p>	<p>Depende del correcto y certero monitoreo de la sequía La elección incorrecta del indicador hidrológico puede resultar sobre o subestimaciones.</p>
---	--	---

Para este proyecto se ha optado por el uso de indicadores de sequía hidrológica asociados al monitoreo basado en el índice compuesto por los motivos mostrados en la figura anterior pero principalmente por las siguientes consideraciones:

- Se cuenta con 6 monitores de sequía operativos que se basan en un índice compuesto
- Todos los servicios hidrológicos y meteorológicos (salvo Chile que requiere de la información de la Dirección General de Aguas) cuentan con herramientas y datos hidrológicos que ya miden la sequía hidrológica y que solo requieren armonizarse con los rangos de intensidad de la sequía de los monitores.
- Interés en empezar a utilizar y vincular el monitor de sequías con los distintos usuarios potenciales en el marco de la gestión integrada de sequías.

Para la determinación de los umbrales se requiere el uso del monitor y los indicadores, sino también la información histórica de los impactos de sequía con enfoque de gestión de riesgos (Figura 6).

Figura 6. Información para definición de umbrales con enfoque de gestión de riesgos



En este orden de ideas la determinación de los umbrales de sequía tanto para el índice compuesto se vincula con los impactos históricos (el uso de análisis estadístico / probabilístico puede ser útil) y así el umbral se asocia a un nivel de intensidad de sequía en particular, lo que permite alertar oportunamente para la toma de decisiones adecuada o consensada entre las autoridades y los usuarios en el caso de los recursos hídricos, o por los propios usuarios como es el caso de las hidroeléctricas privadas.

Es relevante señalar que la alta vulnerabilidad de las instalaciones y operación de las centrales hidroeléctricas (por ejemplo: infraestructura vieja, mal mantenimiento, políticas de operación y manuales desactualizados, falta de personal con capacidad profesional, deficiente actualización tecnológica y de comunicación) hacen que los umbrales de sequía puedan ser mucho más estrictos que aquellas con baja vulnerabilidad. En todo caso, la sequía ocurrirá, pero sus impactos serán menos severos con un buen alertamiento basado en umbrales.

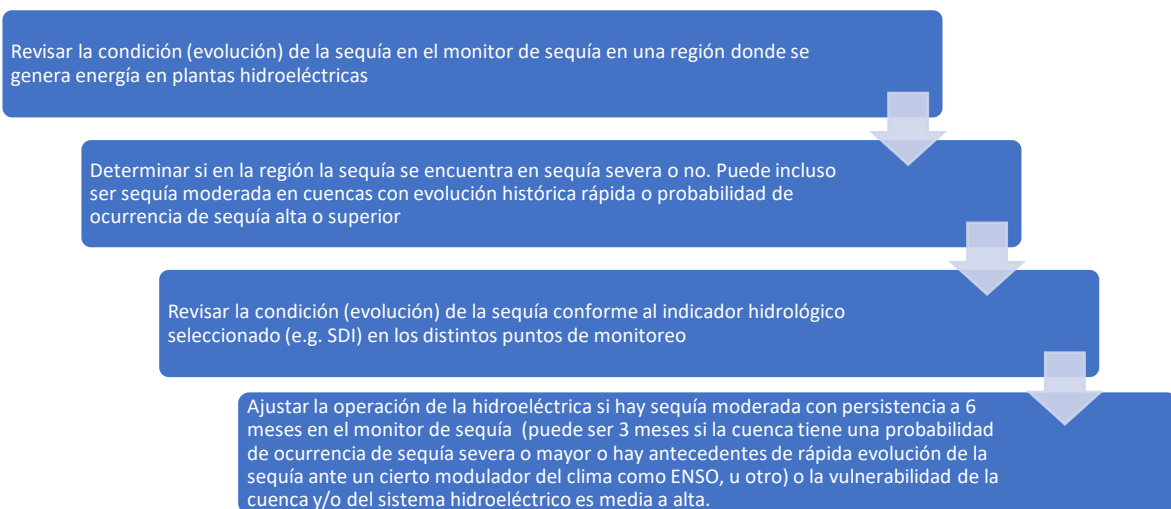
El mismo caso es para el sector de recursos hídricos, donde a las características de la vulnerabilidad anteriormente mencionadas se suman el de una gobernanza deficiente (normas, institución y personal) y mal implementada.

La emisión pública de reglas a nivel de usuario o a nivel de cuenca (reglamento o plan de gestión) forma parte de la política pública para la gestión integrada de la sequía en el marco de la gestión de riesgos.

Protocolo sugerido para la implementación de los umbrales de sequía en el marco de la gestión de riesgos por sequía.

Con el propósito de incorporar el uso de los rangos de sequía en la toma de decisiones del sector hidroeléctrico en el marco de la gestión integrada de sequías el protocolo sugerido se muestra en la figura 7.

Figura 7 Protocolo de implementación de los umbrales de sequía para el sector hidroeléctrico en la gestión de riesgos por sequía



En el caso de los recursos hídricos, en el último paso mostrado en la figura anterior, la decisión de la asignación del agua se debe tomar al inicio del año hidrológico anual (septiembre u octubre dependiendo del país) cuando se debe revisar la condición de la sequía (monitor de sequía e indicador hidrológico). Es claro que existen otros indicadores o métodos de asignación de agua, pero el uso de umbrales puede complementar los para realizar una decisión más sólida. Por otro lado, en condiciones de aumento en intensidad de la sequía y/o prolongación de esta, la decisión de modificar la asignación de agua puede ser tomada al terminar un ciclo agrícola antes de iniciar el siguiente y entonces priorizar la asignación del agua para consumo humano o incluso reducirla buscando el racionamiento.

Ejemplo de umbrales de sequía y su aplicación en México

En México, el monitor de sequía cuenta con 11 indicadores de sequía entre los cuales están meteorológicos, agrícolas y uno hidrológico (SDI)¹¹. Con este indicador se monitorean los sitios de las estaciones hidrométricas.

Como lo señala el manual de indicadores de la OMM y está referido en la página de internet del Gobierno de México¹², el SDI o Índice de Sequía por escurrimiento, se refiere a las deficiencias en las disponibilidades de agua tanto en superficie como en el subsuelo, por lo que se mide en relación con los escurrimientos en ríos, los niveles en lagos, embalses y los niveles en acuíferos. Considerando que hay un retraso entre la falta de lluvia y la reducción de agua en arroyos, ríos, lagos, embalses y acuíferos las mediciones hidrológicas no son los primeros indicadores de sequía, ya que sólo cuando la precipitación es reducida o deficiente durante un período prolongado de tiempo, esta

¹¹ <https://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/indice-de-sequia-por-escurrimiento-sdi-77587>

¹² <https://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/programa-nacional-contra-la-sequia-monitoreo-de-la-sequia-64594>

escasez se refleja en la disminución de los niveles de agua en embalses y los niveles de las aguas subterráneas.

En este sentido la evaluación de la sequía hidrológica se calcula y publica como se muestra en las figuras 8, 9 y 10.

Figura 8 Ubicación de estaciones hidrométricas y presas para las que se calcula el SDI

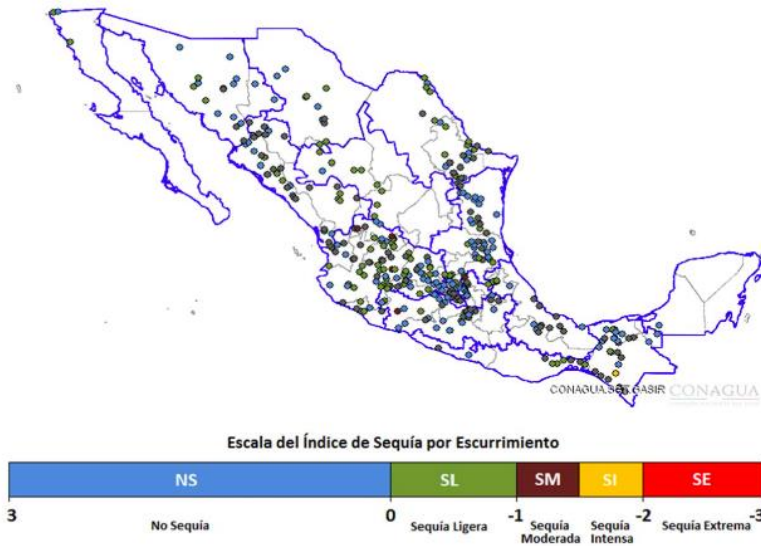
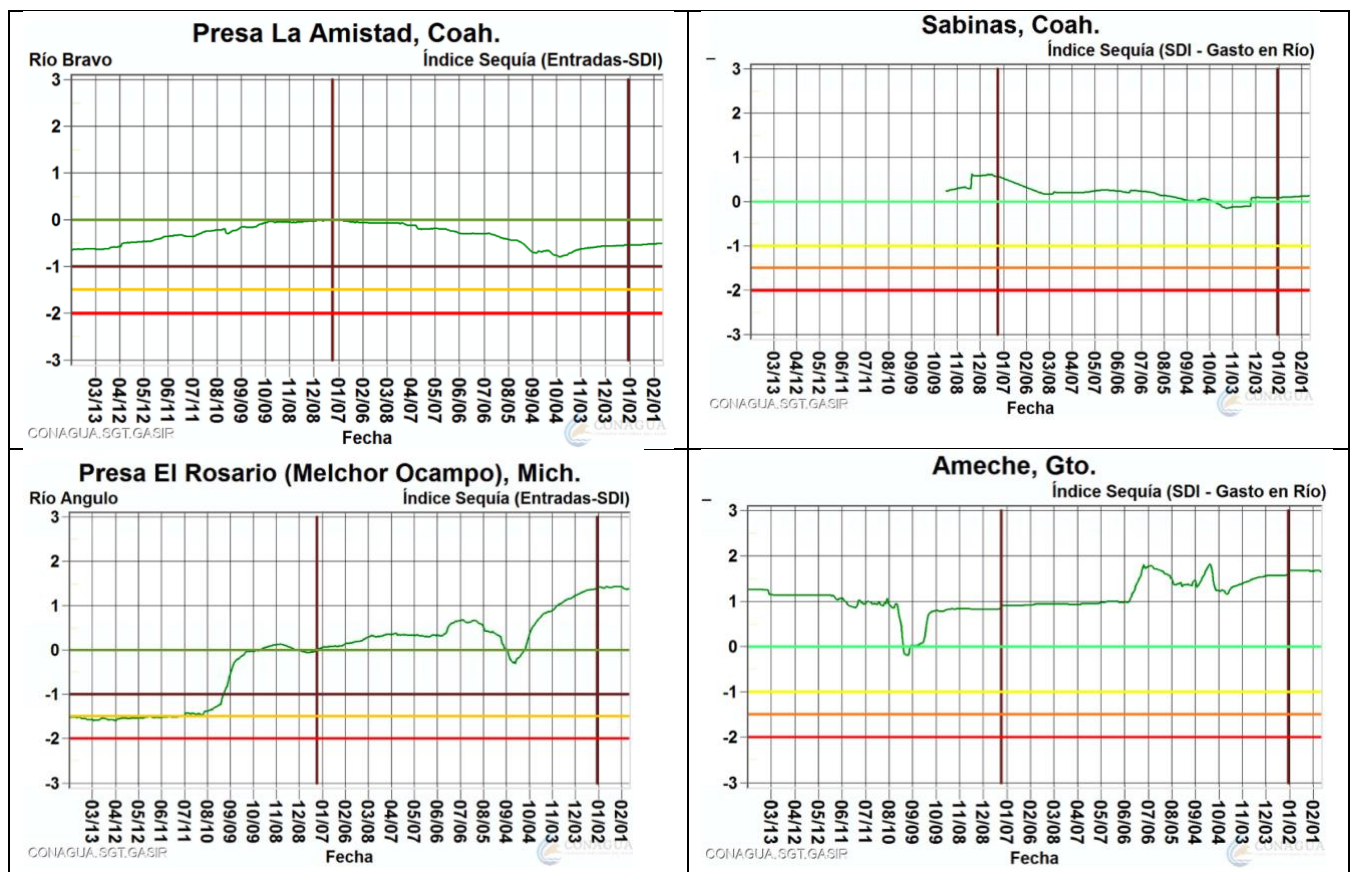


Figura 9 Relación de estaciones hidrométricas y presas con evaluación de SDI en las regiones hidrológicas del río Bravo y Lerma Santiago Pacífico

Datos horarios de presas					Datos horarios de presas				
Estación	Fecha	Índice SDI	Tipo	Municipio	Estación	Fecha	Índice SDI	Tipo	Municipio
Las Lajas, Chih.	2019/02/11	-0.568	PRESA	Buenaventura	Atemajac, Jal.	2019/02/11	-0.095	HIDRO	Arandas
El Tintero, Chih.	2019/02/11	-0.875	PRESA	Buenaventura	La Red, Jal.	2019/02/11	2.104	PRESA	Acatic
Internacional La Amistad, Coah.	2019/02/11	-0.505	PRESA	Acuña	Arandas, Gto.	2019/02/11	0.194	HIDRO	Irapuato
El Centenario, Coah.	2019/02/11	0.110	PRESA	Jiménez	Ing. Elias González Chávez, Jal.	2019/02/11	1.551	PRESA	Zapotlanejo
San Miguel, Coah.	2019/02/11	-0.145	PRESA	Jiménez	Las Adjuntas, Gto.	2019/02/11	0.915	HIDRO	Manuel Doblado
Ing. Luis L. León, Chih.	2019/02/11	-0.584	PRESA	Aldama	Ing. Santiago Camarena, Jal.	2019/02/11	-0.180	PRESA	Teuchitlán
La Fragua, Coah.	2019/02/11	1.024	PRESA	Jiménez	Salamanca, Gto.	2019/02/11	1.180	HIDRO	Salamanca
El Rejón, Chih.	2019/02/11	-0.715	PRESA	Chihuahua	Ameche, Gto.	2019/02/11	1.662	HIDRO	Apaseo el Grande
Chihuahua, Chih.	2019/02/11	-0.535	PRESA	Chihuahua	Pericos, Gto.	2019/02/11	0.946	HIDRO	Salamanca
Francisco I. Madero, Chih.	2019/02/11	-0.669	PRESA	Rosales	Mariano Abasolo, Gto.	2019/02/11	-0.357	PRESA	Pénjamo
Sabinas, Coah.	2019/02/11	0.133	HIDRO	Sabinas	La Venta, Gro.	2019/02/11	-0.523	PRESA	Pedro Escobedo
Tecuan, Chih.	2019/02/11		HIDRO	San Francisco de Conchos	Hurtado, Jal.	2019/02/11	-0.324	PRESA	Acatlán de Juárez
La Boquilla, Chih.	2019/02/11	-0.555	PRESA	San Francisco de Conchos	La Golondrina, Gto.	2019/02/11	0.712	PRESA	Pénjamo
Venustiano Carranza, Coah.	2019/02/11	-0.299	PRESA	Juárez	Corona, Jal.	2019/02/11	0.719	HIDRO	Zapotlán del Rey
Salinillas, N.L.	2019/02/11	-0.055	PRESA	Anáhuac	Zapotlanejo, Jal.	2019/02/11		HIDRO	Juanacatlán
Ing. Andrew Weiss, Chih.	2019/02/11		PRESA	San Francisco de Conchos	Zula río, Jal.	2019/02/11	3.000	HIDRO	Ocotlán
Rodríguez, N.L.	2019/02/11	-0.278	HIDRO	Anáhuac	Atequiza, Jal.	2019/02/11	1.962	HIDRO	Chapala
Internacional Falcón, Tamps.	2019/02/11	-0.073	PRESA	Mier	Yurécuaro, Mich.	2019/02/11	1.613	HIDRO	Ayotlán
Pico del Águila, Chih.	2019/02/11	-0.201	PRESA	Coronado	MALTARANA	2019/02/11	1.192	HIDRO	Jamay
San Gabriel, Dgo.	2019/02/11	-0.477	PRESA	Ocampo	Laguna de Yuriria, Gto.	2019/02/11	2.020	PRESA	Yuriria
Derivadora Las Blancas, Tamps.	2019/02/11	-0.252	PRESA	Mier	Salvatierra, Gto.	2019/02/11	0.489	HIDRO	Salvatierra
Marte R. Gómez, Tamps.	2019/02/11	-0.390	PRESA	Camargo	Corrales, Mich.	2019/02/11	1.278	HIDRO	Penjamillo
Los Aldamas, N.L.	2019/02/11	-0.852	HIDRO	Doctor Coss	Lago de Chapala, Jal.	2019/02/11	0.734	PRESA	Chapala
Ciénega de Flores, N.L.	2019/02/11	-0.876	HIDRO	Ciénega de Flores	Melchor Ocampo, Mich.	2019/02/11	1.384	PRESA	Angamacutiro
Cuchillo-Solidaridad, N.L.	2019/02/11	-0.292	PRESA	China	Solis, Gto.	2019/02/11	1.978	PRESA	Acámbaro
Cadereyta, N.L.	2019/02/11	0.581	HIDRO	Cadereyta Jiménez	Braniff, Gto.	2019/02/11	1.305	HIDRO	Acámbaro
La Boca, N.L.	2019/02/11	-0.286	PRESA	Santiago	Laguna del Fresno, Mich.	2019/02/11	-0.063	PRESA	Penjamillo
					Tacotán, Jal.	2019/02/11	0.054	PRESA	Unión de Tula
					Copándaro, Mich.	2019/02/11	-1.288	PRESA	Jiquilpan
					Tepextepec, Mich.	2019/02/11	1.820	PRESA	Contepec
					Cajón de Peña, Jal.	2019/02/11	-0.089	PRESA	Tomatlán
					Guaracha, Mich.	2019/02/11	-1.195	PRESA	Villamar
					Ramón Corona Madrigal General, Jal.	2019/02/11	-0.558	PRESA	Ayutla
					El Gigante, Mich.	2019/02/11	0.231	HIDRO	Maravatio
					Urepetiro, Mich.	2019/02/11	0.287	PRESA	Tlazazalca
					Jaripo, Mich.	2019/02/11	-0.957	PRESA	Villamar
					Aristeo Mercado, Mich.	2019/02/11	0.932	PRESA	Jiménez
					Camécuaro, Mich.	2019/02/11	-0.729	HIDRO	Tanganicuaró
					Basilio Vadillo, Jal.	2019/02/11	-0.780	PRESA	El Limón

En estas listas de información hay presas hidroeléctricas (Tepuxtepec en Contepec Michoacán, El Cajon y la Yesca en Jalisco, Amistad en Coahuila, etc), presas con fines de riego y abastecimiento de agua para consumo humano y presas multipropósito. Asimismo, hay estaciones hidrométricas que reportan información para el cumplimiento del Tratado de Aguas Internacionales de 1944 entre México y Estados Unidos y para la vigilancia del cumplimiento del reglamento que asigna y distribuye el agua en la cuenca Lerma Chapala.

Figura 10. Monitoreo de SDI en presas hidroeléctricas y para riego, así como estaciones hidrométricas para cumplir Tratado internacional y reglamento de asignación de agua



En la última figura se observan los rangos de intensidad de la sequía asociados al nivel del almacenamiento o del río. Los colores de la intensidad son los mismos que los que están en la Figura 8. Esto permite monitorear la evolución de la sequía y tomar decisiones respecto de la operación o extracción de la presa o del agua que se asigna vía el nivel del río, de acuerdo al umbral donde se encuentre.

Así que en el caso de la presa El Rosario estuvo 5 meses en el estiaje y época de lluvias en condición de sequía hidrológica intensa pero al final de las lluvias se recuperó hasta una condición de no sequía en 2019. Asimismo la presa La Amistad estuvo cerca del umbral de sequía moderada pero siempre en sequía ligera en 2019. Por su parte las dos estaciones

hidrométricas de Amexhe y Sabinas estuvieron por arriba del umbral de alguna condición de sequía por lo que los volúmenes comprometidos aguas abajo no tuvieron contratiempos.

Recomendaciones

Dado que el monitoreo de la sequía mediante índice compuesto vinculado a los índices de sequía hidrológica específicos, es una herramienta muy poderosa y útil debe evaluarse a la luz de la normatividad local si se institucionaliza como la fuente oficial de la condición de la sequía para tomar medidas preventivas y reactivas o bien se emite una regulación específica en cada país.

El monitoreo de la sequía permite tomar decisiones oportunas para los distintos sectores de manera diferenciada con base en umbrales, por lo que es relevante que los países identifiquen el indicador hidrológico más adecuado a las características hidrológicas e información histórica existente de sus respectivas cuencas hidrológica, y al mismo tiempo aprovechen las herramientas hidrológicas actualmente existentes en los servicios hidrológicos y meteorológicos vinculándolas al monitoreo basado en índice compuesto..

El monitoreo de la sequía basado en índice compuesto puede tener una resolución mayor en cuencas, municipios (alcaldías, condados, etc) y regiones y cuencas de especial atención siempre que la información hidrológica y meteorológica de superficie esté disponible y tenga registros históricos con datos de calidad. Esto obliga a asegurar la operación de un número cada vez mayor de estaciones hidrométricas y meteorológicas en sitios donde el fenómeno es recurrente.

Para que los umbrales dentro de cada sector (eléctrico y de gestión de recursos hídricos) puedan diferenciarse por región, tipo de servicio (e.g. cultivo) o actividad, se requiere no solo que la información hidrometeorológica para determinarlos esté disponible. Es decir, implica un buen proceso de recopilación, control de calidad, almacenamiento y procesamiento de datos hidrológicos. Sino también que exista o se vaya creando una base de datos de impactos para estos sectores. Los sistemas nacionales de prevención y atención de riesgos de desastre, las empresas hidroeléctricas y las autoridades nacionales de agua y de medio ambiente son fuentes de información de impactos que requieren recopilarse y sistematizarse para validar o complementar el análisis para la determinación y eventual actualización de los umbrales de sequía.

Es importante reiterar que para los sectores energético y de recursos hídricos, cuyos umbrales de sequía específicos dependen de las características físicas y climáticas de cada cuenca en particular, se debe vincular el umbral de sequía con el concepto de gestión de riesgo, Es decir, la propia vulnerabilidad de las instalaciones hidroeléctricas e hidráulica en las cuencas, pueden modificar sensiblemente los umbrales a los cuales la sequía puede impactar a los sectores.

Referencias

Chao Gao and Xuewen Li. 2018. Precipitation Thresholds of Drought Disaster for Maize in Areas in Front of Bengbu Sluice, Huaihe River Basin, China. *Water* 2018, 10, 1395; DOI 10.3390/w10101395. 18p

McEwen L, Bryan K, Black A, Blake J and Afzal M. 2021. Science-Narrative Explorations of “Drought Thresholds” in the Maritime Eden Catchment, Scotland: Implications for Local Drought Risk Management. *Front. Environ. Sci.* 9:589980. DOI: 10.3389/fenvs.2021.589980

Mongkol Raksapatcharawong and Watcharee Veerakachen. 2019. Development of drought risk analysis platform using multiple satellite sensors. *International Journal of GEOMATE*, Aug. 2019, Vol.17, Issue 60, pp.62- 69 *Geotec., Const. Mat. & Env.*, DOI: <https://doi.org/10.21660/2019.60.4733> ISSN: 2186-2982 (Print), 2186-2990 (Online), Japan

Ning Zhang, Zhiying Li, and Steven M. Quiring. 2023. Developing Impacts-Based Drought Thresholds for Ohio. *Journal of Hydrometeorology*. American Meteorological Society. July 2023. DOI: 10.1175/JHM-D-22-0054.1. 1225-1240 p.

Pulwarty Roger S. 2012. Drought, Thresholds and Early Warnings. National Oceanic and Atmospheric Administration. NIDIS. UR Forum. July 2-6,2012. Cape Town South Africa. 34p

Water Research Commission and Department of Agriculture, Forestry and Fisheries. 2017. Vulnerability, Adaptation to and Coping with Drought: The Case of Commercial and Subsistence Rain Fed Farming in the Eastern Cape. Volume II. WRC Report number: TT 716/2/17 ISBN 978-1-4312-0885-2. April 2017. 318p

Welt Hunger Hilfe (Germany) and Start Network. 2021. Drought risk financing in madagascar: model threshold rationale. WHH and Start Network publish. 20p

Zachary T. Leasor, Steven M. Quiring and Mark D. Svoboda. 2020. Utilizing Objective Drought Severity Thresholds to Improve Drought Monitoring. *Journal Of Applied Meteorology and Climatology*. American Meteorological Society. DOI: 10.1175/JAMC-D-19-0217.1. March 2020. 455-475.