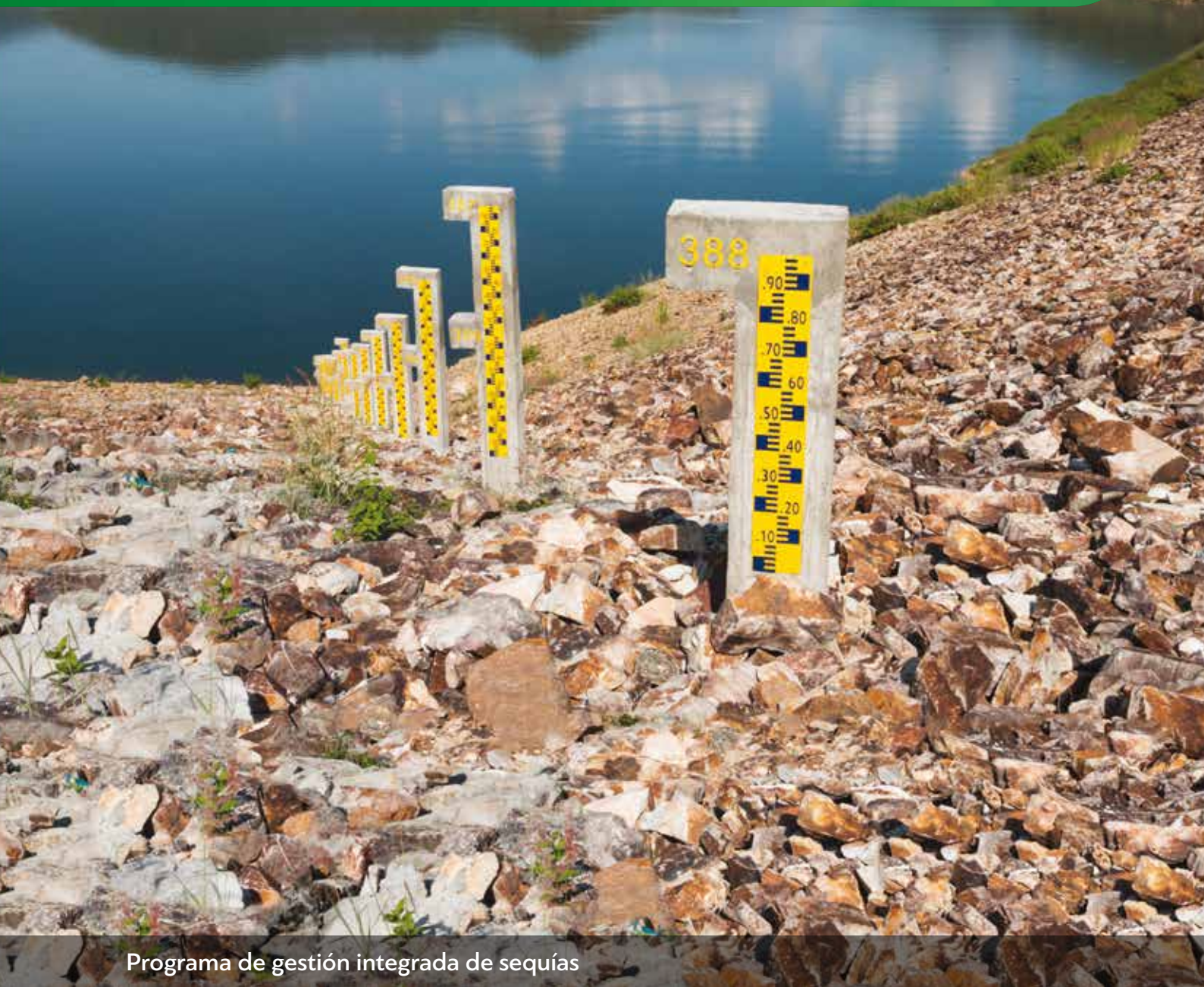


# Manual de indicadores e índices de sequía



Programa de gestión integrada de sequías



ORGANIZACIÓN  
METEOROLÓGICA  
MUNDIAL

OMM-N° 1173

TIEMPO CLIMA AGUA



Asociación Mundial  
para el Agua

Aspirar a un mundo con seguridad hídrica



La **Organización Meteorológica Mundial** (OMM) es un organismo especializado de las Naciones Unidas. Es el portavoz autorizado de las Naciones Unidas sobre el estado y el comportamiento de la atmósfera de la Tierra, su interacción con la tierra y los océanos, el tiempo y el clima que genera y la consiguiente distribución de los recursos hídricos. La OMM cuenta con 191 Estados y Territorios Miembros.

[www.wmo.int](http://www.wmo.int)



La **Asociación Mundial para el Agua** es una red internacional que aspira a un mundo con seguridad hídrica. La misión de la Asociación es promover la gobernanza y la gestión de los recursos hídricos en pro del desarrollo sostenible y equitativo. La red de la Asociación está abierta a todas las organizaciones que reconocen los principios de gestión integrada de los recursos hídricos aprobados por la red.

[www.gwp.org](http://www.gwp.org)



El **Centro Nacional de Mitigación de Sequías** (NDMC), creado en 1995 en la Universidad de Nebraska-Lincoln, ayuda a personas e instituciones a formular y aplicar medidas para reducir la vulnerabilidad de la sociedad a las sequías, y da prioridad a la preparación y la gestión de riesgos en lugar de a la gestión de crisis. El Centro colabora con numerosos organismos federales, estatales e internacionales.

[www.drought.unl.edu](http://www.drought.unl.edu)

El **Programa de gestión integrada de sequías** fue presentado por la OMM y la Asociación Mundial para el Agua en la Reunión de alto nivel de políticas nacionales sobre la sequía celebrada en marzo de 2013. El Programa colabora con una amplia gama de asociados con el objetivo de apoyar a los interesados a todos los niveles. Brinda a sus asociados orientación normativa y de gestión mediante la generación coordinada a escala mundial de información científica y el intercambio de mejores prácticas y conocimientos para lograr una gestión integrada de la sequía. Contribuye al Marco Mundial para los Servicios Climáticos (MMSC), especialmente en lo que respecta a las esferas prioritarias del MMSC relativas a la reducción de riesgos de desastre, los recursos hídricos, la agricultura y la seguridad alimentaria, la energía y la salud. En particular, el Programa trata de apoyar a las regiones y los países para que formulen políticas más anticipativas en materia de sequía y desarrollen mejores mecanismos de predicción. El presente manual es una contribución a tal fin.

[www.droughtmanagement.info](http://www.droughtmanagement.info)

# Manual de indicadores e índices de sequía

Programa de gestión integrada de sequías



ORGANIZACIÓN  
METEOROLÓGICA  
MUNDIAL

OMM-Nº 1173



Asociación Mundial  
para el Agua

Aspirar a un mundo con seguridad hídrica

2016

**Nota al lector:**

Esta publicación forma parte de la “Serie de herramientas y directrices para la gestión integrada de sequías”, recopiladas por el Programa de gestión integrada de sequías. El presente *Manual de indicadores e índices de sequía* se basa en la documentación disponible, y en él se extraen conclusiones de fuentes pertinentes en la medida de lo posible. El manual aborda las necesidades de los profesionales y las instancias normativas. La publicación es una guía o material de consulta para profesionales, no una publicación académica.

La presente publicación es un “documento dinámico” y se irá actualizando a partir de los resultados obtenidos por sus lectores. Los indicadores y los índices que figuran en el capítulo 7 del manual también se pueden consultar en línea en [www.droughtmanagement.info](http://www.droughtmanagement.info). El Programa invita a los gestores de recursos hídricos y a los expertos que se dedican a la gestión de sequías en todo el mundo a participar en el enriquecimiento de esta publicación. A tal fin, son bienvenidas las observaciones y otras contribuciones. La autoría y las contribuciones se reconocerán debidamente. Envíe sus observaciones a la dirección de correo electrónico [idmp@wmo.int](mailto:idmp@wmo.int) con el asunto “Handbook of Drought Indicators and Indices”.

**Cita:**

Organización Meteorológica Mundial (OMM) y Asociación Mundial para el Agua (2016): *Manual de indicadores e índices de sequía* (M. Svoboda y B.A. Fuchs). Programa de gestión integrada de sequías, Serie 2 de herramientas y directrices para la gestión integrada de sequías. Ginebra.

Serie 2 de herramientas y directrices para la gestión integrada de sequías  
© 2016 Organización Meteorológica Mundial y Asociación Mundial para el Agua

ISBN 978-92-63-31173-3  
ISBN 978-91-87823-29-9

**Descargo de responsabilidad:**

Las denominaciones empleadas en las publicaciones de la OMM y la Asociación Mundial para el Agua y la forma en que aparecen presentados los datos que contienen no entrañan, de parte de la OMM ni de la Asociación Mundial para el Agua, juicio alguno sobre la condición jurídica de ninguno de los países, territorios, ciudades o zonas citados o de sus autoridades, ni respecto de la delimitación de sus fronteras o límites.

La mención de determinados productos o sociedades mercantiles no implica que la OMM y la Asociación Mundial para el Agua los favorezcan o recomienden con preferencia a otros análogos que no se mencionan ni se anuncian.

Las observaciones, interpretaciones y conclusiones expresadas en las publicaciones de la OMM y la Asociación Mundial para el Agua por autores cuyo nombre se menciona son únicamente las del autor y no reflejan necesariamente las de la OMM ni la Asociación Mundial para el Agua ni las de sus Miembros respectivos.

# ÍNDICE

	<i>Páginas</i>
AGRADECIMIENTOS .....	iv
1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. DEFINICIONES: INDICADORES FRENTE A ÍNDICES .....	3
3. ENFOQUES DE VIGILANCIA DE LA SEQUÍA Y DE ORIENTACIÓN DE LA ALERTA TEMPRANA Y LA EVALUACIÓN .....	4
4. SELECCIÓN DE LOS INDICADORES E ÍNDICES .....	5
5. RESUMEN DE LOS INDICADORES E ÍNDICES .....	6
6. RECURSOS SOBRE LOS ÍNDICES E INDICADORES .....	10
7. INDICADORES E ÍNDICES .....	11
7.1 Meteorología .....	11
7.2 Humedad del suelo .....	26
7.3 Hidrología .....	29
7.4 Teledetección .....	34
7.5 Mixtos o modelados .....	40
BIBLIOGRAFÍA .....	46

## **AGRADECIMIENTOS**

El *Manual de indicadores e índices de sequía* es una iniciativa del Programa de gestión integrada de sequías, y ha sido elaborado por Mark Svoboda y Brian Fuchs, del Centro Nacional de Mitigación de Sequías de la Universidad de Nebraska-Lincoln.

Las siguientes personas han hecho llegar sus contribuciones y observaciones (la relación está ordenada alfabéticamente por apellidos):

Kevin Anderson, Sección de Análisis y Datos Climáticos, Ministerio del Medio Ambiente de Canadá  
Chandrashekar Biradar, Centro internacional de investigación agrícola en las zonas secas (ICARDA)  
Siegfried Demuth, Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO)

Maxx Dilley, Organización Meteorológica Mundial (OMM)

Allan Howard, Oficina de Agricultura y Agroalimentación de Canadá

Rajeev Issar, Yuko Kurauchi y Francis Opiyo, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD)

Dasarath Jayasuriya y Gary Allan, Oficina de Meteorología de Australia

Oluf Zeilund Jessen, DHI

Azmat Hayat Khan, Servicio Meteorológico de Pakistán

Alexander Kleshchenko, Instituto Nacional de Meteorología Agrícola de la Federación de Rusia

Mario López Pérez, Comisión Nacional del Agua de México (CONAGUA)

Bradfield Lyon, Instituto internacional de investigación sobre el clima y la sociedad (IRI), Universidad de Columbia

Sayed Masoud Mostafavi Darani y Masoud Haghghat, Organización Meteorológica de la República Islámica del Irán

Masahiko Murase, Centro internacional de gestión de riesgos relativos al agua (ICHARM), Instituto de Investigación de Obras Públicas (PWRI), Japón

Gabriele Quinti, CERFE, Italia

Vadlamudi U.M. Rao, Proyecto coordinado de investigación sobre agrometeorología para toda la India (AICRPAM), Consejo de Investigaciones Agrícolas de India - Instituto Central de Investigaciones sobre la Agricultura de Tierras Secas (ICAR-CRIDA)

Vladimir Smakhtin, Instituto Internacional del Manejo del Agua (IWMI)

Yanling Song, Administración Meteorológica de China

Roger C. Stone y Anthony Clark, Universidad del sur de Queensland

Marcus Wijnen y Natalia Limones Rodríguez, Banco Mundial

Donald Wilhite, Universidad de Nebraska-Lincoln

Los encargados de la coordinación general fueron Robert Stefanski y Frederik Pischke, de la Unidad de apoyo técnico del Programa de gestión integrada de sequías de la OMM y la Asociación Mundial para el Agua.

## 1. INTRODUCCIÓN

¿Por qué es importante vigilar las sequías? Las sequías son una parte normal del clima y pueden darse en todos los regímenes climáticos del mundo, incluso en desiertos y bosques lluviosos. Son uno de los peligros naturales más costosos año tras año: sus efectos son considerables y generalizados, al perjudicar a muchos sectores económicos y personas en cada ocasión. El rastro de las sequías (o la zona afectada) suele ser mayor que el de otros peligros, que generalmente se circunscribe a llanuras inundables, regiones costeras, la trayectoria de la tormenta o las zonas de fallas. Tal vez no haya otro peligro que se preste tanto a ser objeto de seguimiento, toda vez que su lenta aparición hace factible que se observen los cambios en la precipitación, la temperatura y la situación general de las reservas de agua superficial y de agua subterránea en una región. Los indicadores o los índices de sequía se utilizan en muchas ocasiones para facilitar el seguimiento de las sequías, y varían en función de la región y de la estación.

Como otros peligros, las sequías pueden caracterizarse por su gravedad, localización, duración y desarrollo cronológico. Pueden ser ocasionadas por varios procesos hidrometeorológicos que suprimen la precipitación o limitan la disponibilidad de agua superficial o subterránea, de manera que aparecen condiciones mucho más secas de lo normal o se limita de otra manera la humedad disponible hasta un punto potencialmente perjudicial. Los indicadores e índices analizados en el presente *Manual de indicadores e índices de sequía* ofrecen varias opciones para determinar la gravedad, la localización, la duración, la aparición y el cese de esas condiciones. Cabe señalar que los efectos de las sequías pueden ser tan variados como sus causas. Las sequías pueden repercutir negativamente en la agricultura y la seguridad alimentaria, la generación de energía hidroeléctrica y la industria, la salud humana y animal, la seguridad de los medios de subsistencia, la seguridad personal (por ejemplo, las mujeres que recorren largas distancias para ir a buscar agua) y el acceso a la educación (por ejemplo, las niñas que no van a la escuela debido a que se tarda más tiempo en ir a buscar agua). Estos efectos dependen de los contextos socioeconómicos en los que se producen las sequías, en función de la población o los elementos que estén expuestos a las sequías y de las vulnerabilidades específicas de los entes expuestos. Por consiguiente, los efectos que resultan de interés para la vigilancia de una sequía específica y el contexto de alerta temprana suelen ser un aspecto decisivo a la hora de determinar la elección de los indicadores de sequía.

Un efecto de la sequía es **una pérdida o alteración observable en un momento específico debida a la sequía**. La gestión de riesgos de sequía lleva aparejada la evaluación de los peligros, la exposición, las vulnerabilidades y los efectos; un sistema de alerta temprana de la sequía (vigilancia y predicción, véase el recuadro 1), y actividades de preparación y mitigación (OMM, UNCCD y FAO, 2013). Es importante que los indicadores o índices de sequía reflejen y representen de manera precisa los efectos que se producen durante las sequías. Los efectos de las sequías pueden variar a medida que se desarrollan en función de la región y la estación.

Es posible que para hacer un seguimiento de distintos aspectos del ciclo hidrológico haga falta recurrir a varios indicadores e índices. Resulta conveniente que esos indicadores e índices y su descripción sean compatibles con los efectos de las condiciones en ciernes sobre el terreno y las decisiones en materia

### Recuadro 1: Sistemas de alerta temprana de la sequía

Por lo general, los sistemas de alerta temprana de la sequía tienen por objeto seguir y evaluar las condiciones y tendencias climáticas, hidrológicas e hídricas, y suministrar información pertinente al respecto. En teoría, presentan un componente de vigilancia (que comprende los efectos) y un componente de predicción. La finalidad es proporcionar información puntual antes de la fase incipiente de la sequía, o durante ella, para adoptar medidas (por medio de elementos desencadenantes que tienen un umbral como referencia) en el marco de un plan de gestión de riesgos de sequía que sirva de medio para reducir los posibles efectos. Es esencial contar con un enfoque exhaustivo e integrado para vigilar este peligro de lenta aparición.



Shutterstock / Eddie Hernandez

de gestión que toman las distintas personas, grupos y organizaciones. En este momento, la evaluación de los efectos de la sequía representa una importante laguna en muchos sistemas de alerta temprana de la sequía de todo el mundo, a pesar de que esos efectos son su principal objeto de interés. La evaluación de los efectos es complicada, dado que hay otros factores socioeconómicos ajenos a la naturaleza física de las sequías que influyen en la magnitud y el tipo de efectos relacionados con la exposición y la vulnerabilidad a las sequías. Es esencial comprender cómo afectan las sequías a las personas, las comunidades, las empresas o los sectores económicos a fin de adoptar medidas encaminadas a mitigar los efectos de las futuras sequías.

A raíz de la publicación del informe sobre fenómenos meteorológicos extremos del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, 2012), la cuantificación de los daños y perjuicios causados por fenómenos climáticos extremos, como las sequías, ha adquirido relevancia en la aplicación de políticas, particularmente en relación con el programa de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC). Asimismo, debido a la magnitud de las pérdidas asociadas a los desastres, será fundamental mejorar la vigilancia y la gestión de las sequías para llevar a la práctica el Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible. El seguimiento eficaz y preciso de los indicadores hidrometeorológicos brinda una información esencial para la detección de riesgos, para los sistemas de alerta temprana de la sequía y para gestionar las consecuencias en los sectores. Teniendo esto presente, el Decimoséptimo Congreso Meteorológico Mundial, celebrado en junio de 2015, aprobó la Resolución 9: Identificadores para la catalogación de fenómenos extremos relacionados con el tiempo, el clima y el agua. Con ello se inició un proceso para normalizar la información sobre los peligros y riesgos medioambientales relacionados con el tiempo, el agua, el clima, la meteorología del espacio y otras esferas conexas, y se dio prioridad a la creación de identificadores para la catalogación de fenómenos extremos relacionados con el tiempo, el agua y el clima. Este manual contribuirá de manera valiosa a esta labor.

**La finalidad del presente manual es tratar algunos de los indicadores e índices de sequía de uso más habitual en las regiones más propensas a las sequías, con el objeto de impulsar sistemas de vigilancia, de alerta temprana y de suministro de información que respalden los planes de preparación y las políticas de gestión de la sequía basados en riesgos. Estos conceptos e indicadores o índices se describen a grandes rasgos a continuación, en lo que se considera un documento dinámico que evolucionará e incorporará nuevos indicadores e índices a medida que estos salgan a la luz y se apliquen en el futuro. El presente manual está dirigido a todas las personas que aspiran a generar indicadores e índices por sí mismas, así como a las que simplemente quieren obtener y utilizar productos que se generan en otros sitios. Está concebido para su uso**



por profesionales generalistas interesados en las sequías (por ejemplo, servicios meteorológicos o hidrológicos y ministerios, gestores de recursos y otras instancias decisorias a distintos niveles) y pretende servir como punto de partida para mostrar qué indicadores o índices están disponibles y se están utilizando en todo el mundo. Asimismo, el manual se ha diseñado teniendo en cuenta distintos procesos de gestión de riesgos de sequía. No obstante, entre las finalidades de esta publicación no se encuentra recomendar el “mejor” conjunto de indicadores e índices. La elección de los indicadores o índices se basa en las características específicas de las sequías que guardan más relación con los efectos que preocupan a las partes interesadas.

En el presente manual no se pretenden abordar todas las complejidades de los efectos ni la gama completa de indicadores e índices socioeconómicos de la sequía. Los indicadores e índices incluidos describen las características hidrometeorológicas de las sequías, pero no tratan factores socioeconómicos ni medioambientales como los que hacen falta para evaluar y pronosticar los efectos y las consecuencias de las sequías. El manual pretende servir de referencia, y para tal fin presenta una perspectiva global y ofrece una guía a fuentes de información adicional. El Programa de gestión integrada de sequías está trabajando en la creación de un centro de asistencia para la gestión integrada de sequías.

## 2 DEFINICIONES: INDICADORES FRENTE A ÍNDICES

Es importante definir qué son los indicadores e índices de sequía.

Los **indicadores** son variables o parámetros utilizados para describir las condiciones de las sequías. Cabe citar, por ejemplo, la precipitación, la temperatura, los caudales fluviales, los niveles de las aguas subterráneas y de los embalses, la humedad del suelo y el manto de nieve.

Los **índices** suelen ser representaciones numéricas informatizadas de la gravedad de las sequías, determinadas mediante datos climáticos o hidrometeorológicos, entre los que se incluyen los indicadores enumerados. Tienen por objeto analizar el estado cualitativo de las sequías en el entorno en un período de tiempo determinado. Desde el punto de vista técnico, los índices también son indicadores. Vigilar el clima en diversas escalas temporales permite reconocer los períodos húmedos de corta duración dentro de las sequías de larga duración o los períodos secos de corta duración



dentro de los períodos húmedos de larga duración. Los índices pueden simplificar relaciones complejas y brindar valiosos instrumentos para la comunicación con distintos públicos y usuarios, incluida la población general. Se utilizan para proporcionar un estudio cuantitativo de la gravedad, la localización, el desarrollo cronológico y la duración de los episodios de sequía. La gravedad se refiere a la desviación de la normalidad de un índice. Se puede establecer un umbral de gravedad a fin de determinar el momento en que una sequía ha comenzado, el momento en que ha terminado y la zona geográfica afectada. La localización se refiere a la zona geográfica en la que se registran las condiciones de sequía. Las fechas aproximadas de inicio y cese fijan el desarrollo cronológico y la duración. Los efectos vienen determinados por la interacción del fenómeno peligroso y los elementos expuestos (población, zonas agrícolas, embalses y sistemas de abastecimiento de agua), y las vulnerabilidades de esos elementos a las sequías. Las vulnerabilidades pueden haberse agravado por sequías precedentes que tal vez provocaron la venta de activos productivos para satisfacer las necesidades inmediatas, por ejemplo. El desarrollo cronológico de una sequía puede tener tanta relevancia como su gravedad en el diagnóstico de los efectos y las consecuencias. Una sequía interestacional breve y de gravedad relativamente baja, en caso de que se produzca durante el período de sensibilidad a la humedad de un cultivo estable, puede tener un efecto más devastador en el rendimiento de la cosecha que una sequía más prolongada y grave registrada en un momento menos crucial del ciclo agrícola. En consecuencia, los índices de sequía, junto con la información complementaria sobre los activos expuestos y sus características relativas a la vulnerabilidad, son esenciales para seguir y prever los efectos y las consecuencias de las sequías. Hay índices que también pueden cumplir otra función esencial, en el sentido de que pueden facilitar una referencia histórica a los planificadores o las instancias decisorias. Esta referencia brinda a los usuarios información sobre la probabilidad de que se produzcan o se repitan sequías de distintos niveles de gravedad. No obstante, cabe destacar que el cambio climático comenzará a alterar las tendencias históricas.

La información extraída de los indicadores e índices es útil para planificar y diseñar aplicaciones (como evaluaciones del riesgo, sistemas de alerta temprana de la sequía e instrumentos de apoyo a las decisiones para gestionar riesgos en los sectores afectados por las sequías), siempre que se tenga conocimiento del régimen climático y la climatología de sequía del lugar. Asimismo, se pueden utilizar varios indicadores e índices para validar indicadores de sequía modelados, asimilados u obtenidos por teledetección.

### **3. ENFOQUES DE VIGILANCIA DE LA SEQUÍA Y DE ORIENTACIÓN DE LA ALERTA TEMPRANA Y LA EVALUACIÓN**

Hay tres métodos básicos para vigilar la sequía y orientar la alerta temprana y la evaluación:



1. utilizar un único indicador o índice;
2. utilizar varios indicadores o índices;
3. utilizar indicadores mixtos o híbridos.

En el pasado, las instancias decisorias y los científicos utilizaban un solo indicador o índice porque era el único criterio que tenían a su disposición, o porque tenían poco tiempo para obtener datos y calcular índices derivados u otros resultados concretos. Durante los últimos 20 años, aproximadamente, ha habido un decidido interés general y una proliferación de nuevos índices basados en varios indicadores que son compatibles con distintas aplicaciones y escalas, tanto espaciales como temporales. Estos nuevos instrumentos han dotado de más alternativas a las instancias decisorias y normativas, las cuales, no obstante, carecían hasta hace poco tiempo de un método preciso para sintetizar los resultados en un mensaje sencillo que se pudiera transmitir a la población. La aparición de los sistemas de información geográfica y la expansión de los recursos informáticos y de presentación de datos han incrementado la capacidad de superponer y comparar varios indicadores o índices, así como de elaborar mapas sobre ellos. Para consultar un análisis más pormenorizado acerca de la elaboración de mapas sobre índices e indicadores de sequía, véase el capítulo 9 de la *Guía del usuario sobre el Índice normalizado de precipitación* (OMM, 2012).

Pueden producirse confusiones al intentar establecer los indicadores o índices que se utilizarán, sobre todo si están vinculados a un plan integral contra la sequía y se utilizan como elementos desencadenantes de medidas de gestión de la sequía. A fin de establecer el ajuste óptimo para una localización, zona, cuenca o región determinada, hace falta tiempo y un sistema de ensayo y error. A lo largo del último decenio, ha aparecido un nuevo tipo de indicador mixto (en ocasiones denominado híbrido) que sirve para combinar varios indicadores e índices, de manera ponderada o no, o de manera modelada. La idea es utilizar los puntos fuertes de varias entradas de datos y al mismo tiempo seguir empleando una única y sencilla fuente de información para las instancias decisorias, las instancias normativas o la población. Dado que la mejor forma de evaluar la gravedad de las sequías es sobre la base de varios indicadores asociados a la disponibilidad de agua en una zona o región específica, el enfoque mixto o híbrido permite incorporar un mayor número de elementos al proceso de análisis.

Aunque el presente manual no tiene por objeto indicar con exactitud qué indicadores o índices se deben integrar o aplicar desde el punto de vista de la orientación para la gestión de la sequía, cabe señalar la función que desempeñan los índices e indicadores en un sistema de alerta temprana de la sequía que es parte integral de una estrategia general de gestión de riesgos de sequía. Los indicadores o índices son valiosos elementos desencadenantes que contribuyen a que las instancias decisorias y normativas se encaminen hacia la gestión anticipativa de la sequía.

Los elementos desencadenantes son valores específicos de un indicador o índice que dan inicio o ponen fin a cada nivel de un plan contra la sequía y a las respuestas asociadas en materia de mitigación y gestión de emergencias. Es decir, activan medidas y dejan margen para la rendición de cuentas, a fin de verificar que cada responsable esté haciendo lo que tiene que hacer en el momento oportuno. A la larga, deberían vincularse a un plan o política integral de gestión de la sequía (OMM y Asociación Mundial para el Agua, 2014). Es esencial disponer de una lista completa de los elementos desencadenantes de los indicadores e índices, que deben estar armonizados con un plan de acción para que rijan un conjunto coordinado de medidas a cargo de distintos organismos o ministerios. Sin esta armonización, es probable que se retrase notablemente la aplicación de las medidas cuando aparece una sequía en una zona o región.

#### **4. SELECCIÓN DE LOS INDICADORES E ÍNDICES**

De la misma forma que no hay una definición única de sequía, no hay ningún índice o indicador que pueda atribuirse y ser aplicado a todos los tipos de sequía, regímenes climáticos y sectores afectados por las sequías. El presente manual no pretende ser prescriptivo ni señalar a los lectores qué índices e indicadores conviene utilizar o cuándo; de hecho, a la hora de determinar qué indicador, índice o

elemento desencadenante (o combinación de estos) es el más apropiado para una determinada necesidad o aplicación influyen muchos factores. Las siguientes preguntas pueden resultar útiles a los usuarios para decidir qué indicadores e índices son los más adecuados en su situación actual:

- ¿Los índices o indicadores dejan margen suficiente para detectar a tiempo la sequía, a fin de activar la comunicación y coordinación de las medidas de respuesta o mitigación de la sequía?
- ¿Los índices o indicadores son sensibles al clima, el espacio y el tiempo, de modo que permitan determinar el inicio y el final de la sequía?
- ¿Los índices y los indicadores, así como los distintos niveles de gravedad, son susceptibles a los efectos que se producen sobre el terreno en un determinado lugar o región y los reflejan debidamente?
- ¿Se han elegido indicadores, índices y elementos desencadenantes iguales o diferentes para el inicio y para el cese de la sequía? Es fundamental tener en cuenta ambas situaciones.
- ¿Se utilizan indicadores mixtos (híbridos) para dar cabida a muchos factores y datos de entrada?
- ¿Los datos y los índices o indicadores resultantes están disponibles y son estables? Es decir, ¿se dispone de un registro prolongado de las fuentes de datos que permita ofrecer a los planificadores y las instancias decisorias un indicador histórico y estadístico sólido?
- ¿Es fácil utilizar en la práctica los índices e indicadores? ¿Disponen los usuarios de recursos (tiempo y recursos humanos) para esta labor? ¿Se conservarán esos recursos de manera permanente cuando no haya una situación de sequía? Su conservación es más justificable si se establece un sistema de este tipo para vigilar todos los aspectos de los ciclos hidrológicos y climáticos, no solo las sequías.

El indicador o índice más sencillo de utilizar suele ser aquel que ya se produce de manera operativa y es de libre utilización, pero esto no significa necesariamente que sea el mejor o el más adecuado. En última instancia, esta decisión tiene que ser tomada por los usuarios a las escalas regional, nacional o local. El enfoque preferido y recomendado consiste en que los usuarios adopten un enfoque con varios indicadores o índices o con un indicador o índice mixto o híbrido como parte de un sistema de alerta temprana de la sequía, en el contexto de un plan integral de mitigación de la sequía. En teoría, para ello son necesarios análisis exhaustivos y un método de investigación a fin de determinar qué indicadores son más adecuados en ciertos regímenes climáticos, regiones, cuencas y localizaciones. También es necesario llevar a cabo actividades de investigación al objeto de establecer para qué estaciones es más pertinente cada indicador, de manera que representen los efectos que se producen sobre el terreno. Una vez identificados, los indicadores o índices pueden ser recomendados o integrarse en un sistema de alerta temprana de la sequía como posibles elementos desencadenantes, para su vinculación con medidas de respuesta o mitigación de emergencias en el marco de un plan contra la sequía.

## 5. RESUMEN DE LOS INDICADORES E ÍNDICES

Como ya se ha señalado, no hay un único indicador ni índice que sirva para determinar las medidas apropiadas frente a todos los tipos de sequía, dada la cantidad y variedad de sectores afectados. El enfoque predilecto es utilizar varios umbrales con distintas combinaciones de datos de entrada. En teoría, para ello es necesario llevar a cabo un estudio previo con el fin de determinar qué indicadores o índices son los más apropiados según el desarrollo cronológico, la zona y el tipo de clima y sequía. Esta labor requiere tiempo porque hace falta recurrir a un sistema de ensayo y error. La adopción de decisiones a partir de valores basados en índices cuantitativos es esencial para una evaluación apropiada y precisa de la gravedad de las sequías, y como dato de entrada en un sistema de alerta temprana de la sequía operativo o plan integral contra la sequía.

Los indicadores e índices enumerados en el cuadro 1 han sido extraídos del Programa de gestión integrada de sequías y de publicaciones de asociados y búsquedas en Internet. Se clasifican por tipo y facilidad de uso, y se agrupan en las siguientes categorías: a) meteorología; b) humedad del suelo; c) hidrología; d) teledetección, y e) mixto o modelado. Aunque se enumeran en función de su facilidad de uso, es posible que haya indicadores que no sean compatibles con una aplicación particular, teniendo en cuenta los conocimientos de los usuarios, las necesidades, la disponibilidad de datos y los recursos

informáticos existentes para su aplicación. Las necesidades de recursos son mayores si el índice o indicador tiene asignado el color amarillo y rojo que si tiene asignado el color verde, como se explica a continuación. Cabe insistir en que el índice o el indicador más sencillo no es necesariamente el idóneo.

Para clasificar los indicadores o índices según la “facilidad de uso” se utilizan los colores de un semáforo, de la siguiente manera:

**Verde:** Se asigna el color verde a un índice si cumple al menos uno de los siguientes criterios:

- Existe un código o programa de fácil acceso y de libre utilización para ejecutar el índice.
- No hacen falta datos diarios.
- Se puede ejecutar aunque falten datos.
- El producto del índice ya se genera de forma operativa y se puede consultar en línea.

Nota: Aunque el color verde asignado a un indicador o índice puede significar que sea el más sencillo de conseguir o utilizar, esto no implica que sea el idóneo para una determinada región o lugar. La decisión respecto de los indicadores o índices que se utilizarán tiene que ser tomada por el usuario y depende de las aplicaciones concretas.

**Amarillo:** Se asigna el color amarillo a un índice si cumple al menos uno de los siguientes criterios:

- Hacen falta distintas variables o datos de entrada para los cálculos.
- Hay un código o programa para ejecutar el índice que no es del dominio público.
- Es posible que solo se necesite un dato de entrada o variable, pero no hay ningún código disponible.
- La complejidad de los cálculos necesarios para producir el índice es mínima.

**Rojo:** Se asigna el color rojo a un índice si cumple al menos uno de los siguientes criterios:

- Sería necesario desarrollar un código para calcular el índice a partir de la metodología presentada en los trabajos publicados.
- El índice o los productos derivados no son de fácil acceso.
- El índice es poco claro y no se emplea de forma generalizada, pero se puede utilizar.
- El índice contiene datos modelados o forma parte de los cálculos.

**Cuadro 1. Indicadores e índices enumerados en el manual**

<i>Meteorología</i>	<i>Página</i>	<i>Facilidad de uso</i>	<i>Parámetros de entrada</i>	<i>Información adicional</i>
Índice de anomalía de la aridez (AAI)	11	Verde	P, T, ETP, ET	Disponible con fines operativos para India
Deciles	11	Verde	P	Fácil de calcular; los ejemplos de Australia resultan útiles
Índice de sequía de Keetch-Byram (KBDI)	12	Verde	P, T	Los cálculos se basan en el clima de la zona de interés
Porcentaje de precipitación habitual	12	Verde	P	Cálculos sencillos
Índice normalizado de precipitación (SPI)	13	Verde	P	Marcado por la OMM como punto de partida para la vigilancia de sequías meteorológicas
Anomalía ponderada y normalizada de la precipitación (WASP)	15	Verde	P, T	Utiliza datos reticulares para vigilar la sequía en regiones tropicales
Índice de aridez (AI)	15	Amarillo	P, T	También se puede utilizar en clasificaciones climáticas
Índice Z de China (CZI)	16	Amarillo	P	Concebido para mejorar los datos del SPI

<i>Meteorología</i>	<i>Página</i>	<i>Facilidad de uso</i>	<i>Parámetros de entrada</i>	<i>Información adicional</i>
Índice de humedad de los cultivos (CMI)	16	Amarillo	P, T	Se necesitan valores semanales
Índice de zonas de sequía (DAI)	17	Amarillo	P	Ofrece un indicio de la evolución en la estación del monzón
Índice de reconocimiento de sequías (DRI)	17	Amarillo	P, T	Se necesitan valores mensuales de temperatura y precipitación
Índice de sequía efectiva (EDI)	18	Amarillo	P	Programa disponible mediante contacto directo con el autor
Coefficiente hidrotérmico de Selyaninov (HTC)	19	Amarillo	P, T	Cálculos fáciles y varios ejemplos de la Federación de Rusia
Índice de sequía de la NOAA (NDI)	19	Amarillo	P	Es mejor utilizarlo en aplicaciones agrícolas
Índice de severidad de sequía de Palmer (PDSI)	20	Amarillo	P, T, CAD	No se le ha asignado el color verde debido a la complejidad de los cálculos y a la necesidad de disponer de datos de series completas
Índice Z de Palmer	20	Amarillo	P, T, CAD	Uno de los numerosos productos de los cálculos del PDSI
Índice de anomalía pluviométrica (RAI)	21	Amarillo	P	Se necesitan datos de series completas
Índice autocalibrado de severidad de sequía de Palmer (sc-PDSI)	22	Amarillo	P, T, CAD	No se le ha asignado el color verde debido a la complejidad de los cálculos y a la necesidad de disponer de datos de series completas
Índice normalizado de anomalías (SAI)	22	Amarillo	P	Se utilizan datos puntuales para describir las condiciones regionales
Índice estandarizado de precipitación y evapotranspiración (SPEI)	23	Amarillo	P, T	Se necesitan datos de series completas; productos similares al SPI, pero con componente de temperatura
Índice de sequía de referencia para la agricultura (ARID)	23	Rojo	P, T, Mod	Producido en el sureste de Estados Unidos de América; no se ha probado lo suficiente fuera de esta región
Índice de sequía específico para cultivos (CSDI)	24	Rojo	P, T, TPR, V, Rad, CAD, Mod, CD	Se necesitan datos de calidad de muchas variables, lo que dificulta su uso
Índice para reclamaciones por sequía (RDI)	25	Rojo	P, T, MN, EM, CF	Similar al Índice del abastecimiento de las aguas superficiales, pero contiene un componente de temperatura

<i>Humedad del suelo</i>	<i>Página</i>	<i>Facilidad de uso</i>	<i>Parámetros de entrada</i>	<i>Información adicional</i>
Anomalía de la humedad del suelo (SMA)	25	Amarillo	P, T, CAD	Concebido para mejorar el balance hídrico del PDSI
Índice del déficit de evapotranspiración (ETDI)	26	Rojo	Mod	Cálculos complejos para los que son precisos varios datos de entrada
Índice del déficit de humedad del suelo (SMDI)	26	Rojo	Mod	Cálculos semanales a distintas profundidades del suelo; difícil de calcular
Almacenamiento de agua del suelo (SWS)	27	Rojo	CAD, EM, TS, DHS	Debido a variaciones en los tipos de suelo y cultivo, la interpolación en zonas extensas resulta difícil

<i>Hidrología</i>	<i>Página</i>	<i>Facilidad de uso</i>	<i>Parámetros de entrada</i>	<i>Información adicional</i>
Índice de sequía hidrológica de Palmer (PHDI)	27	Amarillo	P, T, CAD	Se necesitan datos de series completas
Índice normalizado del suministro de embalses (SRSI)	28	Amarillo	RD	Cálculos similares al SPI con datos de embalses
Índice normalizado de los caudales fluviales (SSFI)	29	Amarillo	SF	Utiliza el programa del SPI junto con datos sobre los caudales fluviales
Índice normalizado del nivel del agua (SWI)	29	Amarillo	GW	Cálculos similares a los del SPI, pero utilizando datos sobre las aguas subterráneas o del nivel de los pozos en lugar de datos de precipitación
Índice de sequía de los caudales fluviales (SDI)	30	Amarillo	SF	Cálculos similares a los del SPI, pero utilizando datos sobre los caudales fluviales en lugar de datos de precipitación
Índice del abastecimiento de las aguas superficiales (SWSI)	30	Amarillo	P, EM, CF, MN	Se pueden utilizar muchas metodologías y productos derivados, pero las comparaciones entre cuencas están sujetas al método elegido
Índice agregado de sequía (ADI)	31	Rojo	P, ET, CF, EM, CAD, MN	Carece de código, pero las cuestiones matemáticas están explicadas en las publicaciones correspondientes
Índice normalizado de la fusión de la nieve y la lluvia (SMRI)	32	Rojo	P, T, CF, Mod	Se puede utilizar con o sin información sobre el manto de nieve

<i>Teledetección</i>	<i>Página</i>	<i>Facilidad de uso</i>	<i>Parámetros de entrada</i>	<i>Información adicional</i>
Índice mejorado de la vegetación (EVI)	32	Verde	Sat	No distingue entre el estrés ocasionado por la sequía y otros tipos de estrés
Índice de estrés por evaporación (ESI)	33	Verde	Sat, ETP	No tiene un amplio historial como producto operativo
Índice diferencial normalizado de vegetación (NDVI)	33	Verde	Sat	Se calcula para la mayoría de los lugares
Índice de las condiciones de temperatura (TCI)	34	Verde	Sat	Aparece generalmente junto con los cálculos del NDVI
Índice de condiciones de la vegetación (VCI)	34	Verde	Sat	Aparece generalmente junto con los cálculos del NDVI
Índice de respuesta a la sequía de la vegetación (VegDRI)	35	Verde	Sat, P, T, CAD, LC, ER	Tiene en cuenta muchas variables para diferenciar entre el estrés ocasionado por la sequía y otros tipos de estrés
Índice de salud de la vegetación (VHI)	35	Verde	Sat	Una de las primeras tentativas de vigilar la sequía con datos por teledetección
Índice de satisfacción de la demanda de agua (WRSI) y WRSI geoespacial	36	Verde	Sat, Mod, CC	Operativo para muchos lugares
Índice diferencial de agua normalizado (NDWI) e Índice de agua en la superficie terrestre (LSWI)	37	Verde	Sat	Producido operativamente con los datos de espectrorradiómetros de imagenización de resolución moderada
Índice de vegetación ajustado al suelo (SAVI)	37	Rojo	Sat	No producido operativamente

<i>Mixtos o modelados</i>	<i>Página</i>	<i>Facilidad de uso</i>	<i>Parámetros de entrada</i>	<i>Información adicional</i>
Indicador combinado de sequía (CDI)	38	Verde	Mod, P, Sat	Utiliza datos de observación en superficie y datos obtenidos por teledetección
Sistema mundial integrado de vigilancia y predicción de sequías (GIDMaPS)	38	Verde	Multiple, Mod	Producto operativo con un resultado global de tres índices de sequía: Índice normalizado de la humedad del suelo, SPI e Índice normalizado de sequía con múltiples variables
Sistema mundial de asimilación de datos de la superficie terrestre (GLDAS)	39	Verde	Multiple, Mod, Sat	Útil en regiones de las que se dispone de escasos datos gracias a su alcance mundial
Índice estandarizado de sequía de múltiples variables (MSDI)	40	Verde	Multiple, Mod	Disponible, pero es necesaria labor de interpretación
Vigilancia de la sequía en Estados Unidos (USDM)	41	Verde	Multiple	Disponible, pero es necesaria labor de interpretación

*Nota:* Los indicadores e índices están ordenados según su facilidad de uso, en primer lugar, y alfabéticamente, por su nombre en inglés, dentro de cada categoría de facilidad de uso.

*Leyenda de las variables:*

AS = aguas subterráneas,  
 CAD = contenido de agua disponible,  
 CC = coeficiente de cultivo,  
 CF = caudales fluviales,  
 CS = cobertura del suelo,  
 DC = datos de cultivos,  
 DHS = déficit hídrico del suelo,  
 EM = embalse,  
 ER = ecorregión,  
 ET = evapotranspiración,

ETP = evapotranspiración potencial,  
 MN = manto de nieve,  
 Mod = modelado,  
 P = precipitación,  
 Rad = radiación solar,  
 Sat = satélite,  
 T = temperatura,  
 TPR = temperatura del punto de rocío,  
 TS = tipo de suelo,  
 V = datos sobre el viento,  
 Varios = varios indicadores.

## 6. RECURSOS SOBRE LOS ÍNDICES E INDICADORES

Hay varias fuentes de información sobre los diferentes índices e indicadores utilizados actualmente en todo el mundo. El Centro Nacional de Mitigación de Sequías (NDMC), de la Universidad de Nebraska-Lincoln (Estados Unidos de América) documenta y explica algunos de los índices más habituales, y mantiene una sección de recursos dedicada específicamente a los índices de sequía: <http://drought.unl.edu/Planning/Monitoring/ComparisonofIndicesIntro.aspx>.

En 2009 se celebró en la Universidad de Nebraska-Lincoln el Taller interregional sobre índices y sistemas de alerta temprana de sequía de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el NDMC. Uno de los resultados fue la ratificación del Índice normalizado de precipitación (SPI), en virtud de la Declaración de Lincoln sobre los índices de sequía, como criterio para determinar la existencia de sequía meteorológica (Hayes y otros, 2011). La OMM ha elaborado una Guía del usuario sobre el Índice normalizado de precipitación ; véase [http://www.droughtmanagement.info/literature/WMO\\_standardized\\_precipitation\\_index\\_user\\_guide\\_es\\_2012.pdf](http://www.droughtmanagement.info/literature/WMO_standardized_precipitation_index_user_guide_es_2012.pdf).

A modo de seguimiento, la OMM y la Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres, en colaboración con la Confederación Hidrográfica del Segura y la Agencia Estatal de Meteorología de España (AEMET), organizaron una reunión de un grupo de expertos sobre índices de sequía agrícola en Murcia (España) en 2010 (Sivakumar y otros, 2011). Un grupo de científicos de todo el mundo, en representación de las Regiones de la OMM, examinó 34 índices utilizados para evaluar los efectos de la sequía en la agricultura, poniendo de relieve sus puntos fuertes y débiles. Las actas de la reunión, publicadas con el título *Agricultural Drought Indices: Proceedings of an Expert Meeting*



MostPhotos



(Índices de sequía agrícola: Actas de la reunión de expertos), se presentan en 17 artículos que se pueden consultar en <http://www.wamis.org/agm/pubs/agm11/agm11.pdf>.

Véanse asimismo las referencias enumeradas al final de esta publicación, por ejemplo, Heim (2002), Keyantash y Dracup (2002) y Zargar y otros (2011), en las que se analiza el uso presente y pasado de varios índices de sequía.

Para obtener más ayuda en relación con la selección, la interpretación y la aplicación de los indicadores e índices, póngase en contacto con el Programa de gestión integrada de sequías a través de su página web (<http://www.droughtmanagement.info/>) o por correo electrónico ([idmp@wmo.int](mailto:idmp@wmo.int)).

## 7. INDICADORES E ÍNDICES

### 7.1 Meteorología

**Nombre del índice:** Índice de anomalía de la aridez (AAI).

**Facilidad de uso:** Verde.

**Origen:** Creado en India por el Departamento de Meteorología de India.

**Características:** Índice de sequía en tiempo real que tiene en cuenta el balance hídrico. El Índice de aridez (AI) se calcula para períodos semanales o bisemanales. En cada período, se compara la aridez observada en el período con la aridez habitual de ese período. Los valores negativos indican un exceso de humedad, mientras que los valores positivos indican falta de humedad.

**Parámetros de entrada:** Evapotranspiración real y valor calculado de la evapotranspiración potencial, para cuyo cálculo se necesitan datos de la temperatura, el viento y la radiación solar.

**Aplicaciones:** Efectos de la sequía en la agricultura, en especial en los trópicos, en los que las estaciones húmedas y secas definidas forman parte del régimen climático. Mediante este método se pueden analizar las campañas agrícolas de invierno y verano.

**Puntos fuertes:** Índice específico para la agricultura; los cálculos son simples y las descripciones de la sequía (suave, moderada o grave) se basan en la desviación de la normalidad. Rápida respuesta, gracias a su frecuencia semanal.

**Puntos débiles:** No sirve para episodios de larga duración o que comprendan varias estaciones.

**Recurso:** <http://imdpune.gov.in/hydrology/methodology.html>.

**Referencia:** [http://www.wamis.org/agm/gamp/GAMP\\_Chap06.pdf](http://www.wamis.org/agm/gamp/GAMP_Chap06.pdf).

### Nombre del índice: Deciles.

**Facilidad de uso:** Verde.

**Origen:** Sencillo método matemático descrito por Gibbs y Maher en 1967 gracias a su colaboración con la Oficina de Meteorología de Australia.

**Características:** Mediante el período íntegro de registro de los datos de precipitación de un lugar, se clasifica la frecuencia y la distribución de la precipitación. El primer decil está compuesto por la cantidad de lluvia en que no se supera el 10% más bajo de los valores, y el quinto decil constituye la mediana. También está disponible una escala de humedad. En esta metodología se pueden tener en cuenta valores diarios, semanales, mensuales, estacionales y anuales, dada su flexibilidad al comparar los datos actuales con el registro histórico de cualquier período determinado.

**Parámetros de entrada:** Solo la precipitación; la escala temporal analizada es flexible.

**Aplicaciones:** Dado que brinda la posibilidad de examinar distintas escalas temporales e intervalos de tiempo, los deciles se pueden utilizar en situaciones de sequía meteorológica, agrícola e hidrológica.

**Puntos fuertes:** Puesto que analiza una sola variable, es una metodología sencilla y flexible para muchas situaciones. Mediante umbrales claramente definidos, los datos actuales se sitúan en un contexto histórico y se puede reconocer la situación de la sequía. Útil en situaciones de humedad y sequía.

**Puntos débiles:** Como ocurre con otros indicadores que solo utilizan la precipitación, no se tienen en cuenta los efectos de la temperatura ni de otras variables durante el desarrollo de la sequía. Los mejores resultados son los obtenidos con períodos prolongados de registro porque se incluyen muchos períodos húmedos y secos en la distribución.

**Recursos:** No hay ningún código informático específico para los deciles; ahora bien, hay varias herramientas en línea de las que se pueden obtener productos. Por consiguiente, es importante aclarar la metodología subyacente, dado que hay varios enfoques estadísticos para calcular deciles a partir de datos meteorológicos: <http://drinc.ewra.net/>.

**Referencia:** Gibbs, W.J. y J.V. Maher, 1967: *Rainfall Deciles as Drought Indicators*. Bureau of Meteorology Bulletin No. 48, Melbourne, Australia.

### Nombre del índice: Índice de sequía de Keetch-Byram (KBDI).

**Facilidad de uso:** Verde.

**Origen:** Parte del trabajo realizado a finales de la década de 1960 por Keetch y Byram, del Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de Estados Unidos. Se trata, fundamentalmente, de un índice de incendios.

**Características:** Creado para detectar sequías en sus fases incipientes mediante un método uniforme y específico para el clima de la región. Es el efecto neto de la evapotranspiración y la precipitación para que se produzca un déficit de humedad en las capas superiores del suelo; proporciona asimismo un indicio de la cantidad de precipitación necesaria para la saturación del suelo y la eliminación del estrés ocasionado por la sequía.

**Parámetros de entrada:** Temperatura máxima diaria y precipitación diaria. Los cuadros se calculan de modo que se establece una relación entre el KBDI y varios regímenes de precipitación, teniendo en cuenta el clima local.

**Aplicaciones:** Concebido como método para vigilar el peligro de incendios debido a la sequía, el KBDI demostró ser útil en contextos agrícolas porque la medición de la humedad del suelo estaba directamente relacionada con el estrés ocasionado por la sequía en los cultivos.

**Puntos fuertes:** Expresa el déficit de humedad de una zona, y se puede aumentar su escala para precisar las características de cada lugar en particular. Los cálculos son sencillos y el método es fácil de utilizar.

**Puntos débiles:** Presume un límite de humedad y la necesidad de que se den determinadas condiciones climáticas para que se desarrolle una sequía que quizá no sean aplicables a todos los lugares.

**Recursos:** El método y los cálculos se pueden consultar en los trabajos publicados, en los que están convenientemente descritos. Hay muchos mapas accesibles en línea correspondientes a distintos lugares: <http://www.wfas.net/index.php/keetch-byram-index-moisture--drought-49>.

**Referencia:** Keetch, J.J. y G.M. Byram, 1968: *A Drought Index for Forest Fire Control*. United States Department of Agriculture Forest Service Research Paper SE-38, Southeastern Forest Experiment Station, Asheville, NC.

### **Nombre del índice: Porcentaje de precipitación habitual.**

**Facilidad de uso:** Verde.

**Origen:** El porcentaje de una cantidad es una sencilla fórmula estadística. Se desconoce su origen exacto o primer uso para describir anomalías de la precipitación.

**Características:** Cálculo sencillo al que se puede recurrir para comparar cualquier período de tiempo de un lugar determinado. Puede calcularse para escalas diarias, semanales, mensuales, estacionales y anuales, las cuales se adecuan a gran parte de las necesidades de los usuarios. Se calcula dividiendo la precipitación observada entre la precipitación habitual correspondiente al período analizado, y multiplicando ese resultado por 100.

**Parámetros de entrada:** Valores de precipitación compatibles con la escala temporal que se calcula. Lo ideal es disponer de datos de 30 años, al menos, para realizar el cálculo del período habitual.

**Aplicaciones:** Puede utilizarse para detectar y vigilar distintos efectos de la sequía.

**Puntos fuertes:** Método popular cuyo cálculo es rápido y fácil de hacer con un conocimiento matemático básico.

**Puntos débiles:** Algunos usuarios pueden confundir el cálculo del valor habitual de una zona con la precipitación habitual o la precipitación media. Resulta difícil comparar distintos regímenes climáticos entre sí, en especial aquellos en los que hay estaciones húmedas y secas definidas.

**Referencia:** Hayes, M.J., 2006: *Drought Indices*. Van Nostrand's Scientific Encyclopedia, John Wiley & Sons, Inc., doi:10.1002/0471743984.vse8593, <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/0471743984.vse8593/abstract;jsessionid=CA39E5A4F67AA81580F505CBB07D2424.f01t04>.

**Nombre del índice:** Índice normalizado de precipitación (SPI).

**Facilidad de uso:** Verde.

**Origen:** Resultado de las investigaciones y el trabajo desarrollados en 1992 en la Universidad del Estado de Colorado (Estados Unidos) por McKee y otros. El resultado de su trabajo se presentó por primera vez en la 8ª Conferencia sobre Climatología Aplicada, celebrada en enero de 1993. La base de este índice es que se sustenta en las relaciones de la sequía con la frecuencia, la duración y las escalas temporales.

En 2009, la OMM recomendó a los países que utilizaran el SPI como principal índice de la sequía meteorológica para vigilar y seguir las condiciones de sequía (Hayes, 2011). Al dar a conocer el SPI como índice de uso general, la OMM brindó orientación a los países que pretendían establecer un nivel para la alerta temprana de sequías.

**Características:** Utiliza registros históricos de la precipitación de un lugar para establecer una probabilidad de precipitación que se puede calcular para las escalas temporales que se deseen, desde un mes hasta 48 meses o más. Como ocurre con otros indicadores climáticos, las series cronológicas de datos utilizadas para calcular el SPI no tienen que tener una duración específica. Guttman (1998, 1999) señaló que si hay datos adicionales presentes en una serie cronológica larga, los resultados de la distribución de la probabilidad serán más fiables porque habrá más episodios de humedad y sequía extrema incluidos. El SPI se puede calcular a partir de un registro mínimo de datos de 20 años, pero lo ideal es que la serie cronológica contenga datos de 30 años, al menos, aunque haya datos ausentes.

El SPI tiene una escala de intensidad en la que se calculan valores positivos y negativos, que se correlacionan directamente con episodios de humedad y sequía. En cuanto a la sequía, los extremos de la distribución de la precipitación despiertan mucho interés, especialmente los episodios de sequía extrema, que son los episodios que se consideran infrecuentes para el clima de la región analizada.

Se denotan episodios de sequía cuando los resultados del SPI, independientemente de la escala temporal que se analice, son continuamente negativos y alcanzan el valor de -1. Se considera que el episodio de sequía sigue en curso hasta que el SPI alcanza un valor de 0. McKee y otros (1993) señalan que la sequía comienza cuando el SPI es igual a -1 o inferior, pero no hay ningún criterio establecido, dado que algunos investigadores elegirán un umbral inferior a 0, pero este quizá no sea -1, mientras que otros clasificarán inicialmente la sequía a valores inferiores a -1.

Debido a la utilidad y flexibilidad del SPI, este índice puede calcularse con datos ausentes del período del registro de un lugar. En teoría, la serie cronológica debe ser lo más completa posible, pero los cálculos del SPI devolverán un valor "nulo" si no hay datos suficientes para calcular un valor, y el SPI comenzará a calcular el producto de nuevo cuando los datos estén disponibles. El SPI suele calcularse para escalas de 24 meses como máximo, y la flexibilidad del índice posibilita numerosas aplicaciones en relación con fenómenos que influyen en la agricultura, los recursos hídricos y otros sectores.

**Parámetros de entrada:** Precipitación. La mayoría de los usuarios utilizan conjuntos de datos mensuales para el SPI, pero los programas informáticos ofrecen la posibilidad de generar resultados a partir de valores diarios o semanales. La metodología del SPI no varía con el uso de datos diarios, semanales o mensuales.

**Aplicaciones:** La posibilidad de calcular el SPI para distintas escalas temporales ofrece numerosas aplicaciones. En función del efecto de la sequía en cuestión, los valores del SPI correspondientes a un período de 3 meses o inferior podrían ser útiles para una labor básica de vigilancia de la sequía; los valores para un período de 6 meses o inferior, para vigilar los efectos en la agricultura, y los valores para un período de 12 meses o más largo, para los efectos hidrológicos. Se puede calcular el SPI a partir de conjuntos de datos reticulares de la precipitación, de manera que puede ser utilizado por usuarios que no solo trabajan con datos de estaciones.

**Puntos fuertes:** El mayor punto fuerte del SPI es que solo se necesitan datos de la precipitación, por lo que es muy fácil de usar y calcular. El SPI se puede aplicar en todos los regímenes climáticos, y se pueden comparar los valores del SPI de climas muy diferentes. La posibilidad de calcular el SPI para períodos cortos de registro que comprenden datos ausentes también resulta valiosa para las regiones que pueden tener escasez de datos o carecer de conjuntos coherentes de datos a largo plazo. Es fácil utilizar y acceder al programa para calcular el SPI. El NDMC facilita un programa para su uso en computadoras personales que se ha distribuido en más de 200 países de todo el mundo. La posibilidad de calcular el SPI durante varias escalas temporales propicia que el índice tenga una gran variedad de aplicaciones. Hay muchos trabajos científicos publicados sobre el SPI, que brindan a los usuarios principiantes numerosos recursos en los que buscar ayuda.

**Puntos débiles:** Dado que el único dato de entrada es la precipitación, el SPI no tiene en cuenta el componente de la temperatura, que es de importancia para el balance hídrico general y el uso del agua de una región. Este inconveniente puede dificultar la comparación de episodios con valores del SPI similares pero distintas condiciones térmicas. La posibilidad de calcular el SPI para períodos cortos de registro, o a partir de datos con valores ausentes, también puede dar lugar a un uso indebido del producto, puesto que el programa generará un producto independientemente de los datos de entrada introducidos. El SPI presupone una distribución previa que tal vez no sea compatible con todos los entornos, en particular al examinar episodios de corta duración o al inicio o el final de una sequía. Existen varias versiones del SPI, integradas en varios programas informáticos de cálculo diferentes a los que se pueden encontrar en el código fuente distribuido por el NDMC. Es importante verificar la integridad de esos algoritmos y la coherencia del producto con las versiones publicadas.

**Recurso:** El programa del SPI puede ejecutarse en computadoras personales con Windows: <http://drought.unl.edu/MonitoringTools/DownloadableSPIProgram.aspx>.

### Referencias:

Guttman, N.B., 1998: Comparing the Palmer Drought Index and the Standardized Precipitation Index. *Journal of the American Water Resources Association*, 34:113–121, doi:10.1111/j.1752-1688.1998.tb05964.

Guttman, N.B., 1999: Accepting the Standardized Precipitation Index: a calculation algorithm. *Journal of the American Water Resources Association*, 35:311–322, doi:10.1111/j.1752-1688.1999.tb03592.x.

Hayes, M., M. Svoboda, N. Wall y M. Widhalm, 2011: The Lincoln Declaration on Drought Indices: universal meteorological drought index recommended. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 92(4):485–488.

McKee, T.B., N.J. Doesken y J. Kleist, 1993: *The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales*. Actas de la 8ª Conferencia sobre Climatología Aplicada, 17 a 22 de enero de 1993, Anaheim, CA. Boston, MA, American Meteorological Society.

Organización Meteorológica Mundial, 2012: *Guía del usuario sobre el Índice normalizado de precipitación (OMM-Nº 1090)*, Ginebra.

Wu, H., M.J. Hayes, D.A. Wilhite y M.D. Svoboda, 2005: The effect of the length of record on the Standardized Precipitation Index calculation. *International Journal of Climatology*, 25(4):505–520.

### **Nombre del índice: Índice de anomalía ponderada y normalizada de la precipitación (WASP).**

**Facilidad de uso:** Verde.

**Origen:** Creado en Lyon para vigilar la precipitación en las regiones tropicales comprendidas a una latitud de 30° del ecuador.

**Características:** Utiliza datos reticulares de la precipitación mensual a una resolución de 0,5° × 0,5°, y se basa en sumas consecutivas de 12 meses de anomalías ponderadas y normalizadas de la precipitación mensual.

**Parámetros de entrada:** Valores de la precipitación mensual y la precipitación anual.

**Aplicaciones:** Se utiliza principalmente en regiones tropicales húmedas para vigilar la sequía incipiente, teniendo en cuenta los períodos húmedos y secos definidos en el régimen climático. Se puede emplear para vigilar las sequías que afectan a la agricultura y otros sectores.

**Puntos fuertes:** Al utilizar la precipitación como único dato de entrada, permite cálculos más sencillos.

**Puntos débiles:** No funciona demasiado bien en regiones desérticas. Puede resultar difícil obtener datos reticulares de la precipitación de carácter operativo.

**Recursos:** Los métodos y cálculos se presentan y explican en los trabajos publicados: [http://iridl.Ideo.columbia.edu/maproom/Global/Precipitation/WASP\\_Indices.html](http://iridl.Ideo.columbia.edu/maproom/Global/Precipitation/WASP_Indices.html).

**Referencia:** Lyon, B., 2004: The strength of El Niño and the spatial extent of tropical drought. *Geophysical Research Letters*, 31:L21204, doi:10.1029/2004GL020901.

### **Nombre del índice: Índice de aridez (AI).**

**Facilidad de uso:** Amarillo.

**Origen:** Creado a partir del trabajo realizado por De Martonne en 1925; la aridez se define como la relación de la precipitación con la temperatura media.

**Características:** Se puede emplear para clasificar los climas de distintas regiones, porque la relación de la precipitación con la temperatura sirve para determinar el régimen climático de una zona. El cálculo mensual del AI se puede utilizar para determinar el inicio de una sequía, dado que el índice tiene en cuenta los efectos de la temperatura y la precipitación.

**Parámetros de entrada:** Temperatura media y precipitación mensuales. Para la clasificación de climas se utilizan valores anuales.

**Aplicaciones:** Se utiliza principalmente para determinar el desarrollo de una sequía en escalas temporales más cortas, lo cual resulta útil para identificar y vigilar efectos agrícolas y meteorológicos.

**Puntos fuertes:** Fácil de calcular dado que solo se utilizan dos datos de entrada. Flexible en el sentido de que se pueden analizar varios intervalos de tiempo.

**Puntos débiles:** No tiene en cuenta el arrastre de sequía de un año a otro. Puede tardar en reaccionar en determinados climas.

#### **Referencias:**

Baltas, E., 2007: Spatial distribution of climatic indices in northern Greece. *Meteorological Applications*, 14:69–78.

De Martonne, E., 1925: *Traité de Géographie Physique*. 11. París, Colin.

### Nombre del índice: Índice Z de China (CZI).

**Facilidad de uso:** Amarillo.

**Origen:** Creado en China, el CZI se sustenta en la facilidad de cálculo que brinda el SPI y lo mejora, al facilitar aún más los cálculos para el usuario. Se puede utilizar un resultado estadístico Z para identificar y vigilar períodos de sequía. El Centro Nacional sobre el Clima de China creó y utilizó por primera vez el índice en 1995.

**Características:** El CZI es similar al SPI porque se utiliza la precipitación para determinar los períodos húmedos y secos, presuponiendo que la precipitación sigue una distribución de Pearson tipo III. Utiliza intervalos de tiempo que abarcan entre 1 y 72 meses, lo que posibilita la detección de sequías de varias duraciones.

**Parámetros de entrada:** Precipitación mensual.

**Aplicaciones:** Similar al SPI, en el sentido de que tanto los episodios de humedad como de sequía se pueden vigilar durante varias escalas temporales.

**Puntos fuertes:** Cálculos sencillos, que se pueden realizar para distintos intervalos de tiempo. Se puede utilizar tanto para episodios de humedad como de sequía. Admite datos ausentes, de la misma forma que el SPI.

**Puntos débiles:** Los datos del resultado Z no necesitan ser ajustados a distribuciones gamma o de Pearson tipo II, y se sospecha que por este motivo las escalas temporales más cortas pueden estar menos representadas que en el SPI.

**Recursos:** Todos los cálculos y explicaciones del CZI se pueden consultar en: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/joc.658/pdf>.

#### Referencias:

Edwards, D.C. y T.B. McKee, 1997: Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple time scales. *Atmospheric Science*, 634:1–30.

Wu, H., M.J. Hayes, A. Weiss y Q. Hu, 2001: An evaluation of the Standardized Precipitation Index, the China-Z Index and the statistical Z-score. *International Journal of Climatology*, 21:745–758.

### Nombre del índice: Índice de humedad de los cultivos (CMI).

**Facilidad de uso:** Amarillo.

**Origen:** Como parte del trabajo original realizado por Palmer a principios de la década de 1960, el CMI se suele calcular semanalmente junto con el producto del Índice de severidad de sequía de Palmer (PDSI), en cuanto componente de sequía a corto plazo en el que se considera el efecto sobre la agricultura.

**Características:** Palmer respondió con el desarrollo del CMI a los inconvenientes asociados al PDSI que se fueron detectando. Está concebido como un índice de sequía especialmente apropiado para los efectos de la sequía en la agricultura, en vista de que responde de manera inmediata a condiciones que cambian rápidamente. Se calcula restando la diferencia entre la evapotranspiración potencial y la humedad, para determinar cualquier déficit.

**Parámetros de entrada:** Precipitación semanal, temperatura media semanal y valor del CMI de la semana precedente.

**Aplicaciones:** Se utiliza para vigilar sequías en las que los efectos en la agricultura son una preocupación primordial.

**Puntos fuertes:** El producto se pondera, de modo que es posible comparar distintos regímenes climáticos. Responde de manera inmediata a condiciones que cambian rápidamente.

**Puntos débiles:** Dado que fue creado específicamente para regiones productoras de cereales en Estados Unidos, el CMI puede indicar una falsa sensación de recuperación después de episodios de sequía de larga duración, puesto que las mejoras a corto plazo pueden ser insuficientes para neutralizar consecuencias de larga duración.

**Recurso:** <https://www.drought.gov/drought/content/products-current-drought-and-monitoring-drought-indicators/crop-moisture-index>.

**Referencia:** Palmer, W.C., 1968: Keeping track of crop moisture conditions, nationwide: the Crop Moisture Index. *Weatherwise*, 21:156–161.

### Nombre del índice: Índice de zonas de sequía (DAI).

**Facilidad de uso:** Amarillo.

**Origen:** Desarrollado a finales de la década de 1970 por Bhalme y Mooley en el Instituto Indio de Meteorología Tropical.

**Características:** Creado como método para conocer más información sobre las lluvias del monzón en India, al determinar los episodios de crecidas y sequía a partir de la precipitación mensual. Las intensidades de los períodos húmedos y secos se obtienen comparando la precipitación mensual durante el período crítico del monzón; la significación de la sequía puede obtenerse tomando como referencia la contribución de la precipitación de cada mes al total de la estación del monzón.

**Parámetros de entrada:** Precipitación mensual durante la estación del monzón.

**Aplicaciones:** Se utiliza para determinar si la estación del monzón ha sido aceptable o seca, o si hay perspectivas de inundación. La predicción de sequías constituye una alerta temprana adecuada de la posibilidad de que se produzca escasez de alimentos.

**Puntos fuertes:** Muy orientada a las estaciones del monzón índico en los trópicos.

**Puntos débiles:** No se puede aplicar a otras zonas o regímenes climáticos.

**Recurso:** Las bases matemáticas y la explicación conexas de este índice se pueden consultar en el trabajo original: <http://moeseprints.incois.gov.in/1351/1/large%20scale.pdf>.

**Referencia:** Bhalme, H.N. y D.A. Mooley, 1980: Large-scale droughts/floods and monsoon circulation. *Monthly Weather Review*, 108:1197–1211.

### Nombre del índice: Índice de reconocimiento de sequías (DRI).

**Facilidad de uso:** Amarillo.

**Origen:** La labor relativa a este índice fue emprendida por Tsakiris y Vangelis en la Universidad Técnica Nacional de Atenas (Grecia).

**Características:** Consiste en un índice de sequía con una ecuación simplificada del balance hídrico que tiene en cuenta la precipitación y la evapotranspiración potencial. Genera tres productos: el valor inicial, el valor normalizado y el valor estandarizado. El valor estandarizado del DRI es similar por su



naturaleza al SPI y se puede comparar directamente con él. Ahora bien, el DRI es más representativo que el SPI, puesto que considera el balance hídrico total en lugar de solo la precipitación.

**Parámetros de entrada:** Valores mensuales de la temperatura y la precipitación.

**Aplicaciones:** Casos en que los efectos en la agricultura o los recursos hídricos son una preocupación primordial.

**Puntos fuertes:** El uso de la evapotranspiración potencial mejora la representación del balance hídrico total de la región que proporciona el SPI, por lo que ofrecerá un indicio más preciso de la gravedad de la sequía. Al igual que el SPI, se puede calcular para muchos intervalos de tiempo. Todas las bases matemáticas necesarias se pueden consultar en los trabajos publicados.

**Puntos débiles:** Los cálculos de la evapotranspiración potencial pueden estar sujetos a errores debido a que solo se utiliza la temperatura para generar la estimación. Es posible que las escalas temporales mensuales no sirvan para detectar inmediatamente sequías que se desarrollan con rapidez.

**Recurso:** El programa informático del DRI está disponible en <http://drinc.ewra.net/>.

**Referencia:** Tsakiris, G. y H. Vangelis, 2005: Establishing a drought index incorporating evapotranspiration. *European Water*, 9/10:3–11.

### **Nombre del índice: Índice de sequía efectiva (EDI).**

**Facilidad de uso:** Amarillo.

**Origen:** Desarrollado gracias al trabajo realizado por Byun y Wilhite, junto con el personal del NDMC.

**Características:** Utiliza datos de la precipitación diaria para desarrollar y calcular varios parámetros: la precipitación efectiva (PE), la PE media diaria, la desviación de la PE (DPE) y el valor normalizado de la DPE. Estos parámetros pueden servir para detectar el inicio y el final de períodos de déficit hídrico. Mediante los parámetros de entrada, se puede calcular el EDI de cualquier lugar del mundo en que se disponga de resultados normalizados para su comparación, lo cual sirve para distinguir claramente el inicio, el final y la duración de la sequía. Durante el desarrollo del EDI, la mayoría de los índices de sequía se calculaban con datos mensuales, por lo que el cambio al uso de datos diarios fue extraordinario e importante para la utilidad del índice.

**Parámetros de entrada:** Precipitación diaria.

**Aplicaciones:** Índice apropiado para la vigilancia operativa de situaciones de sequía meteorológica y agrícola, puesto que los cálculos se actualizan a diario.

**Puntos fuertes:** Al necesitarse un único parámetro de entrada para los cálculos, se puede calcular el EDI de cualquier lugar en que se registre la precipitación. En la documentación complementaria se explican los procesos disponibles en relación con el programa. El EDI es un índice normalizado, por lo que se pueden comparar los productos de todos los regímenes climáticos. Es eficaz para detectar el inicio, el final y la duración de los episodios de sequía.

**Puntos débiles:** Al tener únicamente en cuenta la precipitación, la temperatura no se integra directamente en las situaciones de sequía. El uso de datos diarios puede dificultar la utilización del EDI en contextos operativos, puesto que quizá no sea posible actualizar a diario los datos de entrada.

**Recursos:** Los autores afirman que se puede obtener el código si se contacta directamente con ellos. Los cálculos se describen y se pueden consultar en el trabajo original cuya referencia figura a continuación. Los cálculos del EDI forman parte de un conjunto de índices calculados como parte del

programa informático de Modelado de Información de Series Espaciales y Temporales (SPATSIM): [http://www.preventionweb.net/files/1869\\_VL102136.pdf](http://www.preventionweb.net/files/1869_VL102136.pdf).

**Referencia:** Byun, H.R. y D.A. Wilhite, 1996: Daily quantification of drought severity and duration. *Journal of Climate*, 5:1181–1201.

### **Nombre del índice: Coeficiente hidrotérmico de Selyaninov (HTC).**

**Facilidad de uso:** Amarillo.

**Origen:** Creado por Selyaninov en la Federación de Rusia y basado en el clima ruso.

**Características:** Utiliza valores de la temperatura y la precipitación y es sensible a las condiciones de sequía específicas del régimen climático objeto de vigilancia. Es lo suficientemente flexible para ser utilizado en aplicaciones mensuales y decenales.

**Parámetros de entrada:** Valores mensuales de la temperatura y la precipitación.

**Aplicaciones:** Útil para la vigilancia de condiciones de sequía agrícola; también se ha utilizado para clasificaciones climáticas.

**Puntos fuertes:** Fácil de calcular; los valores se pueden aplicar a las condiciones agrícolas durante el período de crecimiento de los cultivos.

**Puntos débiles:** Los cálculos no tienen en cuenta la humedad del suelo.

**Recursos:** Se puede consultar información al respecto en el sitio web del Instituto Nacional de Meteorología Agrícola de la Federación de Rusia (<http://cxm.obninsk.ru/index.php?id=154>) y en el sitio web del Atlas Interactivo de Ecología Agrícola de Rusia y sus países vecinos: [http://www.agroatlas.ru/en/content/Climatic\\_maps/GTK/GTK/index.html](http://www.agroatlas.ru/en/content/Climatic_maps/GTK/GTK/index.html).

**Referencia:** Selyaninov, G.T., 1928: About climate agricultural estimation. *Proceedings on Agricultural Meteorology*, 20:165–177.

### **Nombre del índice: Índice de sequía de la Administración Nacional del Océano y de la Atmósfera (NDI).**

**Facilidad de uso:** Amarillo.

**Origen:** Desarrollado a principios de la década de 1980 en la Unión de meteorología agrícola, como parte de la labor del Departamento de Agricultura de Estados Unidos encaminada a utilizar datos meteorológicos y climáticos para estimar la producción de cultivos en todo el mundo.

**Características:** Índice basado en la precipitación en el que la precipitación real observada se compara con los valores habituales durante el período de crecimiento de los cultivos. Se calcula la precipitación media de cada semana, que se compara con la suma de una media continua de ocho semanas de la precipitación media observada. Si la precipitación real supera en más de un 60% la precipitación habitual del período de ocho semanas, se presume que en la semana actual apenas se registra estrés hídrico, o que este es inexistente. En caso de que se detecte estrés, este se prolonga hasta que la precipitación real sea igual o superior al 60% de la precipitación habitual.

**Parámetros de entrada:** Precipitación mensual convertida en valores de precipitación semanal.

**Aplicaciones:** Se utiliza como indicador de condiciones de sequía que afectan a la agricultura.

**Puntos fuertes:** El único dato de entrada es la precipitación, de intervalo mensual. Los cálculos y la explicación de uso son sencillos.

**Puntos débiles:** Se necesitan datos de 30 años, como mínimo, para calcular los valores normalizados mensuales que se utilizan para el cálculo de los valores semanales. Tiene aplicaciones específicas relacionadas con la agricultura y con el progreso y desarrollo de los cultivos.

**Referencia:** Strommen, N.D. y R.P. Motha, 1987: An operational early warning agricultural weather system. En: *Planning for Drought: Toward a Reduction of Societal Vulnerability* (D.A. Wilhite, W.E. Easterling y D.A. Wood, eds.). Boulder, CO, Westview Press.

### Nombre del índice: Índice de severidad de sequía de Palmer (PDSI).

**Facilidad de uso:** Amarillo.

**Origen:** Creado en la década de 1960 como uno de los primeros intentos por detectar sequías con más datos que solo los de precipitación. Se encomendó a Palmer la tarea de desarrollar un método que incorporara datos de la temperatura y la precipitación e información sobre el balance hídrico para detectar sequías en las regiones productoras de cultivos de Estados Unidos. Durante muchos años, el PDSI fue el único índice operativo de sequía, y sigue siendo muy popular en todo el mundo.

**Características:** Se calcula con datos mensuales de la temperatura y la precipitación, junto con información sobre la capacidad de retención del agua de los suelos. Tiene en cuenta la humedad recibida (precipitación), así como la humedad almacenada en el suelo, de manera que representa la posible pérdida de humedad a causa del influjo de la temperatura.

**Parámetros de entrada:** Datos mensuales de la temperatura y la precipitación. Se puede utilizar información sobre la capacidad de retención del agua de los suelos, pero también se puede recurrir a valores predeterminados. Se precisa un registro completo en serie de la temperatura y la precipitación.

**Aplicaciones:** Creado principalmente para detectar las sequías que afectan a la agricultura; también se ha utilizado para detectar y vigilar sequías asociadas con otros tipos de efectos. Dada la longevidad del PDSI, hay numerosos ejemplos de uso en el curso de los años.

**Puntos fuertes:** Se utiliza en todo el mundo, y el código y los productos son fáciles de conseguir. En la literatura científica hay numerosos trabajos en relación con el PDSI. Es bastante fiable para detectar sequías gracias a la utilización de datos del suelo y de una metodología del balance hídrico total.

**Puntos débiles:** La necesidad de disponer de datos completos en serie puede causar problemas. El PDSI tiene una escala temporal de nueve meses, aproximadamente, lo que deriva en un desfase al detectar condiciones de sequía sobre la base del componente de humedad del suelo en los cálculos. Este desfase puede ser de varios meses, y supone un inconveniente al intentar detectar una situación de sequía que surge súbitamente. También hay problemas en relación con las estaciones, dado que el PDSI no gestiona adecuadamente la precipitación helada ni los suelos congelados.

**Recurso:** <http://hydrology.princeton.edu/data.pdsi.php>.

#### Referencias:

Alley, W.M., 1984: The Palmer Drought Severity Index: limitations and assumptions. *Journal of Applied Meteorology*, 23:1100–1109.

Palmer, W.C., 1965: *Meteorological Drought*. Research Paper No. 45, US Weather Bureau, Washington D.C.

### Nombre del índice: Índice Z de Palmer.

**Facilidad de uso:** Amarillo.

**Origen:** El Índice Z de Palmer responde mejor que el PDSI a las condiciones a corto plazo y se suele calcular para escalas temporales mucho más cortas, lo que permite detectar sequías que se

desarrollan con rapidez. Como parte del trabajo original realizado por Palmer a principios de la década de 1960, el Índice Z de Palmer se suele calcular mensualmente junto con el producto del PDSI, en cuanto anomalía de la humedad.

**Características:** A menudo se denomina “Índice de anomalía de la humedad” y los valores derivados proporcionan una variable comparable de las anomalías relativas de la sequía y la humedad de una región en relación con el registro íntegro de ese lugar.

**Parámetros de entrada:** El Índice Z de Palmer se deriva del PDSI, y los valores Z forman parte del producto del PDSI.

**Aplicaciones:** Útil para comparar períodos actuales con otros períodos conocidos de sequía. También se puede utilizar con el objetivo de estimar el final de un período de sequía cuando se utiliza para definir cuánta cantidad de humedad se necesita para alcanzar la categoría casi normal, según la definición de Palmer.

**Puntos fuertes:** Los mismos que el PDSI. Se han publicado varios estudios científicos al respecto. El Índice Z de Palmer es bastante fiable para detectar sequías gracias a la utilización de datos del suelo y de una metodología del balance hídrico total.

**Puntos débiles:** Los mismos que el PDSI; por ejemplo, que la necesidad de disponer de datos completos en serie puede causar problemas. Tiene una escala temporal de nueve meses, aproximadamente, lo que deriva en un desfase al detectar condiciones de sequía sobre la base del componente de humedad del suelo en los cálculos. Este desfase puede ser de varios meses, y supone un inconveniente al intentar detectar una situación de sequía que surja súbitamente. También hay problemas en relación con las estaciones, dado que el Índice Z de Palmer no gestiona adecuadamente la precipitación helada ni los suelos congelados.

**Recurso:** Póngase en contacto con el NDMC para tener acceso al código del conjunto de recursos de Palmer: <http://drought.unl.edu/>.

**Referencia:** Palmer, W.C., 1965: *Meteorological Drought*. Research Paper No. 45, US Weather Bureau, Washington D.C.

### **Nombre del índice: Índice de anomalía pluviométrica (RAI).**

**Facilidad de uso:** Amarillo.

**Origen:** Van Rooy comenzó a trabajar en este índice a principios de la década de 1960.

**Características:** Utiliza valores normalizados de la precipitación sobre la base del historial de la estación de un lugar particular. La comparación con el período actual sirve para analizar el producto desde el punto de vista histórico.

**Parámetros de entrada:** Precipitación.

**Aplicaciones:** Aborda las sequías que afectan a la agricultura, los recursos hídricos y otros sectores, puesto que el RAI es flexible al poderse analizar en varias escalas temporales.

**Puntos fuertes:** Fácil de calcular: solo hace falta un único dato de entrada (precipitación) que se puede analizar según escalas mensuales, estacionales y anuales.

**Puntos débiles:** Precisa de un conjunto de datos completos en serie con estimaciones de los valores ausentes. Las variaciones intranuales deben ser pequeñas en comparación con las variaciones temporales.

**Recursos:** No hay recursos al respecto.

**Referencias:**

Kraus, E.B., 1977: Subtropical droughts and cross-equatorial energy transports. *Monthly Weather Review*, 105(8):1009–1018.

van Rooy, M.P., 1965: A Rainfall Anomaly Index independent of time and space. *Notos*, 14:43–48.

**Nombre del índice: Índice autocalibrado de severidad de sequía de Palmer (sc-PDSI).****Facilidad de uso:** Amarillo.

**Origen:** Wells y otros llevaron a cabo los trabajos iniciales en la Universidad de Nebraska-Lincoln, a principios de la década de 2000.

**Características:** Representa todas las constantes contenidas en el PDSI, e incluye una metodología con la que se calculan las constantes de manera dinámica sobre la base de las características presentes en las coordenadas de cada estación. La función de autocalibración del sc-PDSI está formulada para cada estación y cambia en función del régimen climático del lugar. Contiene escalas de humedad y sequía.

**Parámetros de entrada:** Temperatura y precipitación mensuales. Se puede utilizar información sobre la capacidad de retención del agua de los suelos, pero también se puede recurrir a valores predeterminados. Se precisa un registro completo de datos en serie de la temperatura y la precipitación.

**Aplicaciones:** Se puede aplicar a situaciones de sequía meteorológica, agrícola e hidrológica. Puesto que los resultados están vinculados directamente a las coordenadas de la estación, son infrecuentes los episodios extremos, dado que guardan relación directamente con la información de la estación y no son una constante.

**Puntos fuertes:** Gracias a los cálculos del sc-PDSI correspondientes a las distintas estaciones, el índice refleja lo que está sucediendo en cada emplazamiento y ofrece la posibilidad de realizar comparaciones más precisas entre las regiones. Se pueden calcular distintos intervalos de tiempo.

**Puntos débiles:** Dado que la metodología no es sustancialmente diferente del PDSI, tiene los mismos problemas en cuanto al desfase temporal y la precipitación helada y los suelos congelados.

**Recursos:** El código se puede conseguir en <http://drought.unl.edu/> y <https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/cru-sc-pdsi-self-calibrating-pdsi-over-europe-north-america>.

**Referencia:** Wells, N., S. Goddard y M.J. Hayes, 2004: A self-calibrating Palmer Drought Severity Index. *Journal of Climate*, 17:2335–2351.

**Nombre del índice: Índice normalizado de anomalías (SAI).****Facilidad de uso:** Amarillo.

**Origen:** Presentado por Kraus a mediados de la década de 1970; Katz y Glantz revisaron exhaustivamente este índice en el Centro Nacional de Investigaciones Atmosféricas de Estados Unidos a comienzos de la década de 1980. El SAI se creó sobre la base del RAI, y el RAI es un componente del SAI. Son similares, pero cada uno de ellos es singular.

**Características:** Basado en los resultados del RAI, se creó como contribución para detectar sequías en regiones propensas, como el Sahel del África occidental y la zona nororiental de Brasil. El RAI representa la precipitación de las estaciones en una región y normaliza las cantidades anuales. Seguidamente, se calcula la media de las desviaciones de todas las estaciones de la región para obtener un único valor del SAI.

**Parámetros de entrada:** Precipitación en intervalos mensuales, estacionales y anuales.

**Aplicaciones:** Detección de episodios de sequía, en particular en zonas en que estas son frecuentes.

**Puntos fuertes:** Un solo dato de entrada, que puede calcularse para cualquier período definido.

**Puntos débiles:** Solo utiliza la precipitación, y los cálculos dependen de la calidad de los datos.

**Recursos:** En los trabajos publicados figuran ecuaciones para los cálculos.

**Referencias:**

Katz, R.W. y M.H. Glantz, 1986: Anatomy of a rainfall index. *Monthly Weather Review*, 114:764–771.

Kraus, E.B., 1977: Subtropical droughts and cross-equatorial energy transports. *Monthly Weather Review*, 105(8):1009–1018.

**Nombre del índice:** **Índice estandarizado de precipitación y evapotranspiración (SPEI).**

**Facilidad de uso:** Amarillo.

**Origen:** Creado por Vicente-Serrano y otros en el Instituto Pirenaico de Ecología, en Zaragoza (España).

**Características:** Al tratarse de un índice de sequía relativamente nuevo, el SPEI utiliza como base el SPI, pero incluye un componente de temperatura, de manera que el índice tiene en cuenta el efecto de la temperatura en la aparición de sequías mediante un cálculo básico del balance hídrico. El SPI tiene una escala de intensidad en la que se calculan valores positivos y negativos, lo cual sirve para detectar episodios de humedad y sequía. Se puede calcular para intervalos de tiempo mínimos de 1 mes y máximos de 48 meses o más. Las actualizaciones mensuales posibilitan su uso operativo; cuanto más amplia sea la serie cronológica de datos disponibles, más fiables serán los resultados.

**Parámetros de entrada:** Datos mensuales de la precipitación y la temperatura. Se precisa un registro completo de datos en serie en el que no falte ningún mes.

**Aplicaciones:** Dado que es igual de versátil que el SPI, el SPEI se puede utilizar para detectar y vigilar condiciones asociadas a varios efectos de la sequía.

**Puntos fuertes:** Al incluir datos de la temperatura junto con datos de la precipitación, el SPEI tiene en cuenta el efecto de la temperatura en una situación de sequía. El resultado es aplicable a todos los regímenes climáticos, y los productos son comparables porque están normalizados. Dado que utiliza datos de la temperatura, el SPEI es idóneo para observar el efecto del cambio climático en los productos de los modelos de acuerdo con distintos supuestos futuros.

**Puntos débiles:** La necesidad de disponer de un conjunto de datos completos en serie de la temperatura y la precipitación puede limitar su uso si no se dispone de datos suficientes. Al tratarse de un índice mensual, es posible que no se detecten inmediatamente las situaciones de sequía que se desarrollan con rapidez.

**Recursos:** El código del SPEI es de libre utilización y los cálculos también se describen en los trabajos publicados: <http://sac.csic.es/spei/>.

**Referencia:** Vicente-Serrano, S.M., S. Begueria y J.I. López-Moreno, 2010: A multi-scalar drought index sensitive to global warming: the Standardized Precipitation Evapotranspiration Index. *Journal of Climate*, 23:1696–1718.

**Nombre del índice: Índice de sequía de referencia para la agricultura (ARID).****Facilidad de uso:** Rojo.**Origen:** Se basa en la investigación realizada en el sureste de Estados Unidos por Woli, de la Universidad del Estado de Mississippi, y Jones y otros, de la Universidad de Florida, en 2011.**Características:** Predice la situación de la disponibilidad de humedad en el suelo. Utiliza una combinación de estimaciones del estrés hídrico y modelos de cultivos para determinar el efecto del estrés hídrico en el crecimiento, el desarrollo y el rendimiento de determinados cultivos.**Parámetros de entrada:** Datos diarios de la temperatura y la precipitación. También se utiliza el modelo CERES-Maize, aunque se pueden utilizar otros modelos de simulaciones de cultivos.**Aplicaciones:** Se utiliza para detectar y predecir la sequía en contextos en que los efectos en la agricultura son la principal preocupación.**Puntos fuertes:** Los modelos de cultivos y los métodos de balance hídrico resultan útiles para predecir la humedad del suelo y el consiguiente estrés para los cultivos. Se puede calcular a diario de manera que los tiempos de reacción a la sequía serán rápidos.**Puntos débiles:** Diseñado y probado en la región suroriental de Estados Unidos para solo unos pocos sistemas de cultivo. No es fácil de transferir.**Recursos:** Las ecuaciones y la metodología utilizadas se explican en el artículo cuya referencia figura a continuación. No hay ningún código fuente a disposición del público.**Referencia:** Woli, P., J.W. Jones, K.T. Ingram y C.W. Fraisse, 2012: Agricultural Reference Index for Drought (ARID). *Agronomy Journal*, 104:287-300.**Nombre del índice: Índice de sequía específico para cultivos (CSDI).****Facilidad de uso:** Rojo.**Origen:** Creado por Meyer y otros a comienzos de la década de 1990 en la Universidad de Nebraska-Lincoln para examinar el efecto de la sequía en el rendimiento real de los cultivos.**Características:** Tiene en cuenta el efecto de la sequía mediante el cálculo del balance hídrico básico del suelo, pero además determina en qué momento ha ocurrido el estrés ocasionado por la sequía durante el desarrollo del cultivo y cuál será la repercusión general en el rendimiento total. El PDSI y el CMI pueden determinar las condiciones de sequía que afectan a un cultivo, pero no precisan el efecto probable en los rendimientos.**Parámetros de entrada:** Los datos climáticos de entrada son la temperatura máxima diaria, la temperatura mínima diaria, la precipitación, la temperatura del punto de rocío, la velocidad del viento y la radiación solar global. Para el desarrollo de modelos también son necesarias las características del perfil del suelo. Se necesitan datos de los rendimientos y datos fenológicos para establecer correlaciones adecuadas con los días de crecimiento, el progreso de los cultivos y el rendimiento final.**Aplicaciones:** Creado principalmente como contribución para determinar el efecto de la sequía en los rendimientos de los cultivos de las regiones productoras de cereales de Estados Unidos; es sumamente específico para cada tipo de cultivo que se somete a vigilancia.**Puntos fuertes:** Muy específico para cada cultivo particular y basado en el desarrollo de la planta. El modelo tiene en cuenta el momento en que se produce el estrés ocasionado por la sequía durante el crecimiento de la planta y estima el efecto general en el rendimiento.

**Puntos débiles:** Los datos de entrada son bastante complejos, y muchos lugares carecen de los instrumentos o el período de registro necesarios para analizar adecuadamente las condiciones.

**Recursos:** La metodología y los cálculos se describen de manera exhaustiva en los trabajos publicados; véanse las referencias que figuran a continuación.

**Referencias:**

Meyer, S.J., K.G. Hubbard y D.A. Wilhite, 1993: A Crop-specific Drought Index for corn. I. Model development and validation. *Agronomy Journal*, 85:388–395.

Meyer, S.J., K.G. Hubbard y D.A. Wilhite, 1993: A Crop-specific Drought Index for corn. II. Application in drought monitoring and assessment. *Agronomy Journal*, 85:396–399.

**Nombre del índice: Índice para reclamaciones por sequía (RDI).**

**Facilidad de uso:** Rojo.

**Origen:** La Oficina de Reclamaciones de Estados Unidos creó este índice de sequía a mediados de la década de 1990 como método para asignar fondos de socorro de emergencia por sequías asociados con tierras de dominio público.

**Características:** Creado para definir la gravedad y la duración de la sequía; también se puede utilizar para predecir el inicio y el final de períodos de sequía. Dispone de escalas de humedad y sequía y se calcula al nivel de las cuencas fluviales, de manera similar al Índice del abastecimiento de las aguas superficiales (SWSI). El RDI cuenta con componentes de demanda de agua y temperatura, que permiten incluir la evaporación en el índice.

**Parámetros de entrada:** Precipitación mensual, manto de nieve, niveles de los embalses, caudales fluviales y temperatura.

**Aplicaciones:** Se utiliza principalmente para vigilar el abastecimiento de agua de las cuencas fluviales.

**Puntos fuertes:** Muy específico para cada cuenca. A diferencia del SWSI, tiene en cuenta los efectos de la temperatura en el clima. Las escalas de humedad y sequía posibilitan la vigilancia de las condiciones de humedad y sequía.

**Puntos débiles:** Los cálculos se efectúan para las distintas cuencas, por lo que resulta complicado efectuar comparaciones. Disponer de todos los datos de entrada en un contexto operativo puede provocar demoras en la producción de datos.

**Recursos:** Las características y las bases matemáticas pueden consultarse en la referencia que figura a continuación.

**Referencia:** Weghorst, K., 1996: *The Reclamation Drought Index: Guidelines and Practical Applications*. Oficina de Reclamaciones, Denver, CO.

## 7.2 Humedad del suelo

**Nombre del índice: Anomalía de la humedad del suelo (SMA).**

**Facilidad de uso:** Amarillo.

**Origen:** Creado por Bergman y otros en el Servicio Meteorológico Nacional de Estados Unidos a mediados de la década de 1980 como método para evaluar las condiciones mundiales de sequía.



**Características:** Permite utilizar valores semanales o mensuales de la precipitación y la evapotranspiración potencial en una sencilla ecuación del balance hídrico. Está concebido para reflejar el nivel de sequedad o de saturación del suelo en comparación con las condiciones habituales, y para mostrar el influjo del estrés ocasionado por la humedad del suelo en la producción de cultivos de todo el mundo.

**Parámetros de entrada:** Datos semanales o mensuales de la temperatura y la precipitación, junto con la fecha y la latitud. Se pueden usar valores de la capacidad de retención de humedad del suelo y datos específicos de los emplazamientos, si bien se incluyen valores predeterminados.

**Aplicaciones:** Creado y utilizado de manera generalizada para vigilar los efectos de la sequía en la agricultura y la producción de cultivos en todo el mundo.

**Puntos fuertes:** Al tener en cuenta los efectos de la temperatura y la precipitación, comprende los aspectos del balance hídrico que tanto han popularizado el PDSI y, además, permite cambiar las constantes por datos específicos de los emplazamientos. Tiene en cuenta la humedad de distintas capas del suelo y es más flexible que el PDSI para distintos lugares.

**Puntos débiles:** Resulta difícil de calcular debido a las necesidades de datos. Las estimaciones de la evapotranspiración potencial pueden variar de manera considerable en función de la región.

**Recursos:** En los trabajos publicados se describen exhaustivamente los datos de entrada y los cálculos. En este momento no hay ningún programa para los cálculos.

**Referencia:** Bergman, K.H., P. Sabol y D. Miskus, 1988: *Experimental Indices for Monitoring Global Drought Conditions*. Actas del 13º Taller Anual sobre Diagnóstico del Clima, Departamento de Comercio de Estados Unidos, Cambridge, MA.

**Nombre del índice:** Índice del déficit de evapotranspiración (ETDI).

**Facilidad de uso:** Rojo.

**Origen:** Creado en 2004 por Narasimhan y Srinivasan a partir de investigaciones realizadas en la Estación Agrícola Experimental de Texas (Estados Unidos).

**Características:** Producto semanal útil para determinar el estrés hídrico de los cultivos. El ETDI se calcula junto con el Índice del déficit de humedad del suelo (SMDI), que calcula un índice de estrés hídrico mediante el que se compara la evapotranspiración real con la evapotranspiración de referencia de los cultivos. A continuación, se compara el índice de estrés hídrico con la mediana calculada durante un período de larga duración.

**Parámetros de entrada:** Para comenzar se utilizan datos modelados obtenidos de un modelo hidrológico mediante el modelo SWAT (Instrumento de evaluación del suelo y el agua), a fin de calcular semanalmente el agua que hay en la zona radicular del suelo.

**Aplicaciones:** Útil para detectar y vigilar sequías de corta duración que afectan a la agricultura.

**Puntos fuertes:** Analiza tanto la evapotranspiración real como potencial y permite detectar períodos húmedos y secos.

**Puntos débiles:** Los cálculos se basan en el producto del modelo SWAT, aunque también se podrían efectuar los cálculos si se dispusiera de los datos de entrada pertinentes. La variabilidad espacial del ETDI aumenta en los meses de verano durante el período de mayor evapotranspiración y de precipitación muy variable.

**Recursos:** En la referencia que figura a continuación se pueden consultar los cálculos y una exhaustiva explicación al respecto, junto con estudios de correlación con otros índices de sequía.

Se puede consultar información sobre el modelo SWAT en <http://swat.tamu.edu/software/swat-executables/>.

**Referencia:** Narasimhan, B. y R. Srinivasan, 2005: Development and evaluation of Soil Moisture Deficit Index (SMDI) and Evapotranspiration Deficit Index (ETDI) for agricultural drought monitoring. *Agricultural and Forest Meteorology*, 133(1):69–88.

### **Nombre del índice: Índice del déficit de humedad del suelo (SMDI).**

**Facilidad de uso:** Rojo.

**Origen:** Creado en 2004 por Narasimhan y Srinivasan a partir de investigaciones realizadas en la Estación Agrícola Experimental de Texas (Estados Unidos).

**Características:** Producto semanal de la humedad del suelo calculado a cuatro profundidades distintas del suelo, incluida la columna del suelo, a 0,61 m, 1,23 m y 1,83 m; se puede utilizar como indicador de la sequía de corta duración, especialmente si se utilizan los resultados de la capa de suelo a 0,61 m.

**Parámetros de entrada:** Para comenzar se utilizan datos modelados obtenidos de un modelo hidrológico mediante el modelo SWAT, a fin de calcular semanalmente el agua que hay en la zona radicular del suelo.

**Aplicaciones:** Útil para detectar y vigilar sequías que afectan a la agricultura.

**Puntos fuertes:** Tiene en cuenta el perfil completo y distintas profundidades, por lo que se puede adaptar a distintos tipos de cultivo.

**Puntos débiles:** La información necesaria para calcular el SMDI se basa en el producto del modelo SWAT. Hay problemas de autocorrelación cuando se utilizan todas las profundidades.

**Recursos:** En la referencia que figura a continuación se pueden consultar los cálculos y una exhaustiva explicación al respecto. Se puede consultar información sobre el modelo SWAT en <http://swat.tamu.edu/software/swat-executables/>.

**Referencia:** Narasimhan, B. y R. Srinivasan, 2005: Development and evaluation of Soil Moisture Deficit Index (SMDI) and Evapotranspiration Deficit Index (ETDI) for agricultural drought monitoring. *Agricultural and Forest Meteorology*, 133(1):69–88.

### **Nombre del índice: Almacenamiento de agua del suelo (SWS).**

**Facilidad de uso:** Rojo.

**Origen:** Desconocido. Los productores han intentado medir la humedad del suelo de forma precisa desde los albores de la agricultura.

**Características:** Determina la cantidad de humedad disponible en la zona radicular de una planta, que depende del tipo de planta y del tipo de suelo. La precipitación y el riego influyen en los resultados.

**Parámetros de entrada:** Profundidad de enraizamiento, capacidad de almacenamiento de agua disponible del tipo de suelo y déficit hídrico máximo del suelo.

**Aplicaciones:** Utilizado principalmente para vigilar la sequía en contextos agrícolas, aunque también puede servir de componente en condiciones de sequía que influyan en la disponibilidad de agua.

**Puntos fuertes:** Los cálculos son muy conocidos y fáciles de efectuar, incluso si se utilizan valores predeterminados. Con este método se han analizado muchos suelos y cultivos.

**Puntos débiles:** En zonas en que los suelos no son homogéneos, puede haber grandes cambios en pequeñas distancias.

**Recursos:** En la referencia que figura a continuación se pueden consultar los cálculos y distintos ejemplos.

**Referencia:** Ministerio de Agricultura de la Columbia Británica, 2015: *Soil Water Storage Capacity and Available Soil Moisture*. Ficha informativa sobre conservación del agua, [http://www2.gov.bc.ca/assets/gov/farming-natural-resources-and-industry/agriculture-and-seafood/agricultural-land-and-environment/soil-nutrients/600-series/619000-1\\_soil\\_water\\_storage\\_capacity.pdf](http://www2.gov.bc.ca/assets/gov/farming-natural-resources-and-industry/agriculture-and-seafood/agricultural-land-and-environment/soil-nutrients/600-series/619000-1_soil_water_storage_capacity.pdf).

### 7.3 Hidrología

**Nombre del índice:** Índice de sequía hidrológica de Palmer (PHDI).

**Facilidad de uso:** Amarillo.

**Origen:** Parte del conjunto de índices creados por Palmer en la década de 1960 en el United States Weather Bureau.

**Características:** Basado en el PDSI original y modificado para tener en cuenta la sequía de larga duración que influirá en el almacenamiento de agua, los caudales fluviales y las aguas subterráneas. El PHDI ofrece la posibilidad de calcular el momento en que una sequía terminará sobre la base de la precipitación necesaria, mediante una relación de la humedad recibida con la humedad necesaria para que finalice una sequía. Hay cuatro categorías de sequía: casi normal, que se produce aproximadamente entre el 28% y el 50% del tiempo; suave a moderada, que se produce aproximadamente entre el 11% y el 27% del tiempo; grave, que se produce aproximadamente entre el 5% y el 10% del tiempo, y extrema, que se produce aproximadamente el 4% del tiempo.

**Parámetros de entrada:** Temperatura y precipitación mensuales. Se puede utilizar información sobre la capacidad de retención del agua de los suelos, pero también se puede recurrir a valores predeterminados. Se precisa un registro completo de datos en serie de la temperatura y la precipitación.

**Aplicaciones:** Útil principalmente para tomar en consideración la sequía que afecta a los recursos hídricos en escalas temporales prolongadas.

**Puntos fuertes:** Su método de balance hídrico permite analizar el sistema hídrico en su integridad.

**Puntos débiles:** Las frecuencias variarán en función del momento del año y de la región; es posible que en algunas regiones la sequía extrema no sea un fenómeno infrecuente durante algunos meses del año. En los cálculos no se tiene en cuenta el influjo humano, como las decisiones de gestión y el riego.

**Recursos:** Se puede obtener el código en el artículo original de Palmer, en la referencia que figura a continuación: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/wrcr.20342/pdf>.

**Referencia:** Palmer, W.C., 1965: *Meteorological Drought*. Research Paper No. 45, United States Weather Bureau, Washington D.C.

**Nombre del índice:** Índice normalizado del suministro de embalses (SRSI).

**Facilidad de uso:** Amarillo.

**Origen:** Creado por Gusyev y otros en Japón como método sistemático para analizar los datos de los embalses en condiciones de sequía.

**Características:** Similar al SPI porque se utilizan datos mensuales para calcular la función de distribución de probabilidad de los datos de almacenamiento de los embalses, a fin de suministrar información sobre el abastecimiento de agua de una región o cuenca dentro de una gama de  $-3$  (extremadamente seco) a  $+3$  (extremadamente húmedo).

**Parámetros de entrada:** Caudal afluente mensual de los embalses y volúmenes medios de almacenamiento de los embalses.

**Aplicaciones:** Tiene en cuenta el total de caudal afluente y almacenamiento asociados a cualquier sistema de embalses en concreto, y ofrece información a los responsables municipales del abastecimiento de agua y los proveedores locales de riego.

**Puntos fuertes:** Fácil de calcular, dado que reproduce los cálculos del SPI con una distribución normalizada gamma de la función de distribución de probabilidad.

**Puntos débiles:** No tiene en cuenta los cambios ocasionados por la gestión del embalse ni las pérdidas causadas por la evaporación.

**Recurso:** El Centro internacional de gestión de riesgos relativos al agua ha aplicado la metodología del SRSI en varias cuencas fluviales de Asia: <http://www.icharm.pwri.go.jp/>.

**Referencia:** Gusyev, M.A., A. Hasegawa, J. Magome, D. Kuribayashi, H. Sawano y S. Lee, 2015: *Drought Assessment in the Pampanga River Basin, the Philippines. Part 1: A Role of Dam Infrastructure in Historical Droughts*. Actas del 21º Congreso Internacional sobre Modelado y Simulación (MODSIM 2015), Broadbeach, Queensland (Australia).

**Nombre del índice:** Índice normalizado de los caudales fluviales (SSFI).

**Facilidad de uso:** Amarillo.

**Origen:** Modarres presentó el SSFI en 2007, y Telesca y otros profundizaron en su estudio en 2012. En el artículo original, Modarres describe que el SSFI es similar al SPI en el sentido de que el SSFI de un determinado período se define como la diferencia en los caudales fluviales entre la media y la desviación típica.

**Características:** Desarrollado mediante valores mensuales de los caudales fluviales y los métodos de normalización asociados al SPI. Se puede calcular con datos de observaciones y de predicciones, y proporciona una perspectiva de los períodos de niveles altos y bajos de caudal asociados a las crecidas y la sequía.

**Parámetros de entrada:** Datos diarios o mensuales de los caudales fluviales.

**Aplicaciones:** Vigilancia de las condiciones hidrológicas en distintas escalas temporales.

**Puntos fuertes:** Fácil de calcular con el programa del SPI. El hecho de que un único dato variable corrija los datos ausentes facilita su uso.

**Puntos débiles:** Solo representa los caudales fluviales en el contexto del seguimiento de sequías, sin que se analicen otros factores.

**Recursos:** Está debidamente descrito en los trabajos publicados, y se pueden consultar las bases matemáticas y estudios de casos. El programa del SPI se puede obtener en <http://drought.unl.edu/MonitoringTools/DownloadableSPIProgram.aspx>.

**Referencias:**

Modarres, R., 2007: Streamflow drought time series forecasting. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 21:223–233.

Telesca, L., M. Lovallo, I. Lopez-Moreno y S. Vicente-Serrano, 2012: Investigation of scaling properties in monthly streamflow and Standardized Streamflow Index time series in the Ebro basin (Spain). *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 391(4):1662–1678.

### **Nombre del índice: Índice normalizado del nivel del agua (SWI).**

**Facilidad de uso:** Amarillo.

**Origen:** Creado por Bhuiyan en el Instituto de Tecnología de India (India) como instrumento para evaluar los déficits de recarga del agua subterránea.

**Características:** En cuanto indicador de sequía de base hidrológica, utiliza datos de pozos para investigar el efecto de la sequía en la recarga del agua subterránea. Los resultados se pueden interpolar entre puntos.

**Parámetros de entrada:** Niveles de los pozos de agua subterránea.

**Aplicaciones:** En zonas en las que son habituales niveles estacionales bajos de flujo en sus principales ríos y corrientes.

**Puntos fuertes:** El efecto de la sequía en el agua subterránea es un componente esencial del abastecimiento de agua para usos agrícolas y municipales.

**Puntos débiles:** Solo tiene en cuenta el agua subterránea; es posible que la interpolación entre puntos no sea representativa de la región o el régimen climático.

**Referencia:** Bhuiyan, C., 2004: *Various Drought Indices for Monitoring Drought Condition in Aravalli Terrain of India*. Actas de la 20ª Conferencia de la SIFT. Sociedad Internacional de Fotogrametría y Teledetección, Estambul (Turquía), <http://www.isprs.org/proceedings/XXXV/congress/comm7/papers/243.pdf>.

### **Nombre del índice: Índice de sequía de los caudales fluviales (SDI).**

**Facilidad de uso:** Amarillo.

**Origen:** Creado por Nalbantis y Tsakiris; para ello se basaron en la metodología y los cálculos del SPI.

**Características:** Emplea valores mensuales de los caudales fluviales y los métodos de normalización asociados al SPI para desarrollar un índice de sequía basado en datos de los caudales fluviales. Gracias a un producto similar al del SPI, se pueden analizar los períodos húmedos y secos, así como la gravedad de estos episodios.

**Parámetros de entrada:** Valores mensuales de los caudales fluviales y una serie histórica del limnómetro.

**Aplicaciones:** Se utiliza para vigilar y detectar episodios de sequía tomando como referencia un limnómetro particular, que puede ser representativo o no de cuencas mayores.

**Puntos fuertes:** El programa es fácil de conseguir y de utilizar. Admite datos ausentes, y cuanto más prolongado sea el registro de los caudales fluviales, más precisos son los resultados. Como en el SPI, se pueden examinar varias escalas temporales.

**Puntos débiles:** Un único dato de entrada (caudales fluviales) no tiene en cuenta las decisiones de gestión, y los períodos sin caudal pueden distorsionar los resultados.

**Recursos:** Se describe en los trabajos publicados, en los que figuran ejemplos matemáticos. El código del SPI se puede obtener en <http://drought.unl.edu/MonitoringTools/DownloadableSPIProgram.aspx>. Véase <http://drinc.ewra.net/> para consultar información sobre el SDI.

**Referencia:** Nalbantis, I. y G. Tsakiris, 2008: Assessment of hydrological drought revisited. *Water Resources Management*, 23(5):881–897.

### **Nombre del índice: Índice del abastecimiento de las aguas superficiales (SWSI).**

**Facilidad de uso:** Amarillo.

**Origen:** Creado en 1982 por Shafer y Dezman para solucionar directamente varias de las limitaciones detectadas en el PDSI.

**Características:** Tiene en cuenta el trabajo llevado a cabo por Palmer en relación con el PDSI, pero incorpora más información, concretamente datos del abastecimiento de agua (acumulación de nieve, fusión de nieve y escorrentía, y datos de los embalses) y se calcula para una cuenca. El SWSI establece que la frecuencia aproximada de la aparición de las sequías suaves está entre el 26% y el 50%; la de la sequías moderadas, entre el 14% y el 26%, y la de las sequías graves, entre el 2% y el 14%. Se registran episodios de sequía extrema con una frecuencia inferior al 2%, aproximadamente.

**Parámetros de entrada:** Almacenamiento de los embalses, caudales fluviales, manto de nieve y precipitación.

**Aplicaciones:** Se utiliza para detectar condiciones de sequía asociadas a las fluctuaciones hidrológicas.

**Puntos fuertes:** Al tener en cuenta todos los recursos hídricos de una cuenca, proporciona un buen indicio de la salud hidrológica general de una cuenca o región concreta.

**Puntos débiles:** A medida que cambian las fuentes de datos o se incluyen datos adicionales, tiene que recalcularse el índice completo para tener en cuenta esos cambios en la información de entrada, lo que dificulta la elaboración de una serie cronológica homogénea. Puesto que los cálculos pueden variar entre cuencas, es complicado comparar cuencas o regiones homogéneas.

**Recursos:** En las referencias que figuran a continuación se pueden consultar cálculos y una explicación de la metodología.

#### **Referencias:**

Doesken, N.J. y D. Garen, 1991: *Drought Monitoring in the Western United States using a Surface Water Supply Index*. Actas, Séptima Conferencia sobre Climatología Aplicada, Salt Lake City, UT. American Meteorology Society, págs. 266–269.

Doesken, N.J., T.B. McKee y J. Kleist, 1991: *Development of a Surface Water Supply Index for the Western United States*. Climatology Report 91-3, Colorado Climate Center, [http://climate.colostate.edu/pdfs/climo\\_rpt\\_91-3.pdf](http://climate.colostate.edu/pdfs/climo_rpt_91-3.pdf).

Shafer, B.A. y L.E. Dezman, 1982: *Development of a Surface Water Supply Index (SWSI) to Assess the Severity of Drought Conditions in Snowpack Runoff Areas*. Proceedings of the Western Snow Conference, Universidad del Estado de Colorado, Fort Collins, CO, 164–175.

### **Nombre del índice: Índice agregado de sequía (ADI).**

**Facilidad de uso:** Rojo.

**Origen:** Es el resultado del trabajo desarrollado en 2003 por Keyantash en la Universidad del Estado de California (Estados Unidos) y por Dracup en la Universidad de California-Berkeley (Estados Unidos).

**Características:** Índice de sequía regional que utiliza distintas variables y analiza todos los recursos hídricos en numerosas escalas temporales y efectos. Fue creado para su utilización en regímenes climáticos uniformes.

**Parámetros de entrada:** Precipitación, evapotranspiración, caudales fluviales, almacenamiento de los embalses, contenido de humedad del suelo y contenido de agua en la nieve. Los datos de entrada solo se utilizan si la región para la que se calcula el ADI contiene la variable.

**Aplicaciones:** Se puede utilizar en el contexto de muchos tipos de efectos de la sequía. Analizar la cantidad total de agua en un régimen climático permite conocer mejor la disponibilidad de agua que se necesita.

**Puntos fuertes:** Tiene en cuenta el agua almacenada y la humedad procedente de la precipitación.

**Puntos débiles:** No tiene en cuenta las temperaturas ni el agua subterránea, mencionados en la descripción del ADI.

**Recursos:** La metodología y las bases matemáticas se explican en los trabajos publicados, en los que figuran ejemplos. No se ha encontrado ningún código para este índice.

**Referencia:** Keyantash, J.A. y J.A. Dracup, 2004: An aggregate drought index: assessing drought severity based on fluctuations in the hydrologic cycle and surface water storage. *Water Resources Research*, 40:W09304, doi:10.1029/2003WR002610, [http://www.geo.oregonstate.edu/classes/ecosys\\_info/readings/2003WR002610.pdf](http://www.geo.oregonstate.edu/classes/ecosys_info/readings/2003WR002610.pdf).

**Nombre del índice:** Índice normalizado de la fusión de la nieve y la lluvia (SMRI).

**Facilidad de uso:** Rojo.

**Origen:** Creado para tener en cuenta la precipitación helada y su contribución a la escorrentía en las corrientes en forma de fusión de nieve. Staudinger y otros llevaron a cabo los estudios; el índice se sometió a pruebas en distintas cuencas de Suiza.

**Características:** Con métodos similares al SPI, el SMRI tiene en cuenta los déficits de lluvia y nieve y el efecto asociado en los caudales fluviales, incluida la precipitación almacenada en forma de nieve. Su uso más habitual es como complemento del SPI.

**Parámetros de entrada:** Datos de los caudales fluviales y datos diarios de la precipitación y la temperatura. En el estudio inicial del SMRI se utilizaron datos reticulares.

**Aplicaciones:** Al centrarse en el efecto de la precipitación helada y la contribución de esta agua almacenada a los futuros caudales fluviales, este índice se asocia a la vigilancia de las situaciones de sequía.

**Puntos fuertes:** Puesto que tiene en cuenta la nieve y las contribuciones futuras a los caudales fluviales, recoge todos los datos de entrada en una cuenca. Al ofrecer la posibilidad de utilizar la temperatura y la precipitación para el modelado de la nieve, no se necesitan las cantidades reales de nieve.

**Puntos débiles:** El uso de datos reticulares y el hecho de que los datos utilizados solo se remonten hasta 1971 es un inconveniente a la hora de analizar el rendimiento con datos puntuales y períodos más prolongados de registro. El hecho de 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.

**Recursos:** En los trabajos publicados figura información sobre los métodos y cálculos.

**Referencia:** Staudinger, M., K. Stahl y J. Seibert, 2014: A drought index accounting for snow. *Water Resources Research*, 50:7861–7872, doi:10.1002/2013WR015143.

#### 7.4 Teledetección

**Nombre del índice:** Índice de vegetación mejorado (EVI).

**Facilidad de uso:** Verde.

**Origen:** Creado a partir del trabajo realizado por Huete y un equipo de Brasil y la Universidad de Arizona (Estados Unidos), que crearon un instrumento basado en el espectrorradiómetro de imágenes de media resolución (MODIS) para analizar las condiciones de la vegetación.

**Características:** El seguimiento de la vegetación desde plataformas satelitales mediante el radiómetro perfeccionado de muy alta resolución (AVHRR) para calcular el Índice diferencial normalizado de vegetación (NDVI) es muy útil. El EVI utiliza algunas de las mismas técnicas que el NDVI, pero sus datos de entrada proceden de un satélite con MODIS. Tanto el EVI como el NDVI se calculan a partir de la plataforma MODIS y se analizan según su rendimiento en comparación con las plataformas AVHRR. El EVI es más sensible a las variaciones del dosel, el tipo de dosel y la arquitectura, y la fisonomía vegetal. Puede asociarse al estrés y los cambios relacionados con la sequía.

**Parámetros de entrada:** Información de satélites con MODIS.

**Aplicaciones:** Se utiliza para detectar el estrés relacionado con la sequía en distintos entornos. Se asocia principalmente al desarrollo de sequías que afectan a la agricultura.

**Puntos fuertes:** Resolución alta y buena cobertura espacial en todos los terrenos.

**Puntos débiles:** El estrés en el dosel puede estar causado por efectos que no tienen que ver con la sequía, y es difícil discernirlos con la mera utilización del EVI. El período de registro de los datos satelitales es corto, lo que dificulta los estudios climáticos.

**Recursos:** En los trabajos publicados figuran la metodología y los cálculos, y existen recursos en línea de los productos: [http://www.star.nesdis.noaa.gov/smcd/emb/vci/VH/vh\\_browse.php](http://www.star.nesdis.noaa.gov/smcd/emb/vci/VH/vh_browse.php).

**Referencia:** Huete, A., K. Didan, T. Miura, E.P. Rodriguez, X. Gao y L.G. Ferreira, 2002: Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*, 83(1):195–213.

**Nombre del índice:** Índice de estrés por evaporación (ESI).

**Facilidad de uso:** Verde.

**Origen:** Creado por un equipo coordinado por Anderson, para el cual se usaron datos por teledetección a fin de calcular la evapotranspiración en Estados Unidos. El equipo estaba compuesto por científicos del Departamento de Agricultura de Estados Unidos, la Universidad de Alabama-Huntsville y la Universidad de Nebraska-Lincoln.

**Características:** Creado como nuevo índice de sequía en que la evapotranspiración se compara con la evapotranspiración potencial gracias a satélites geoestacionarios. Los análisis indican que su rendimiento es similar al de los índices basados en la precipitación a corto plazo, aunque este índice se puede producir a una resolución mucho mayor sin que sean necesarios datos de precipitación.

**Parámetros de entrada:** Evapotranspiración potencial obtenida por teledetección.



**Aplicaciones:** Particularmente útil para detectar y vigilar sequías que tienen numerosos efectos.

**Puntos fuertes:** Resolución muy alta; cobertura espacial de cualquier zona.

**Puntos débiles:** La nubosidad puede alterar los resultados e influir en ellos. No hay un período prolongado de registro de estudios climatológicos.

**Recursos:** Los trabajos publicados incluyen cálculos del índice: <http://hrsl.arsusda.gov/drought/>.

**Referencia:** Anderson, M.C., C. Hain, B. Wardlow, A. Pimstein, J.R. Mecikalski y W.P. Kustas, 2011: Evaluation of drought indices based on thermal remote sensing of evapotranspiration over the continental United States. *Journal of Climate*, 24(8):2025–2044.

### Nombre del índice: Índice diferencial normalizado de vegetación (NDVI).

**Facilidad de uso:** Verde.

**Origen:** Creado a partir del trabajo realizado por Tarpley y otros y por Kogan con la Administración Nacional del Océano y de la Atmósfera (NOAA) en Estados Unidos.

**Características:** Utiliza los datos mundiales del índice de vegetación, que se generan cartografiando una radiancia diaria de 4 km. Para calcular el NDVI se utilizan valores de la radiancia obtenidos en los canales visible y cerca del infrarrojo. Mide el verdor y el vigor de la vegetación durante un período de siete días para reducir la alteración de los resultados por la nubosidad, y puede detectar el estrés en la vegetación relacionado con la sequía.

**Parámetros de entrada:** Datos satelitales de AVHRR de la NOAA.

**Aplicaciones:** Se utiliza para detectar y vigilar sequías que afectan a la agricultura.

**Puntos fuertes:** Innovador, dado que utiliza datos satelitales para vigilar la salud de la vegetación en relación con episodios de sequía. Resolución muy alta y excelente cobertura espacial.

**Puntos débiles:** El procesamiento de datos es esencial para el NDVI, fase para la que es necesario contar con un sistema sólido. El historial de los datos satelitales no es muy amplio.

**Recursos:** En los trabajos publicados se describen la metodología y los cálculos. Se pueden obtener productos del NDVI en línea: [http://www.star.nesdis.noaa.gov/smcd/emb/vci/VH/vh\\_browse.php](http://www.star.nesdis.noaa.gov/smcd/emb/vci/VH/vh_browse.php).

#### Referencias:

Kogan, F.N., 1995: Droughts of the late 1980s in the United States as derived from NOAA polar-orbiting satellite data. *Bulletin of the American Meteorology Society*, 76(5):655–668.

Tarpley, J.D., S.R. Schneider y R.L. Money, 1984: Global vegetation indices from the NOAA-7 meteorological satellite. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 23:491–494.

### Nombre del índice: Índice de las condiciones de temperatura (TCI).

**Facilidad de uso:** Verde.

**Origen:** Creado a partir del trabajo llevado a cabo por Kogan con la NOAA en Estados Unidos.

**Características:** Mediante bandas térmicas de AVHRR, el TCI se utiliza para determinar el estrés en la vegetación causado por las temperaturas y la humedad excesiva. Las condiciones se estiman en relación con las temperaturas máximas y mínimas, y se modifican para reflejar las distintas respuestas de la vegetación a la temperatura.

**Parámetros de entrada:** Datos satelitales de AVHRR.

**Aplicaciones:** Se utiliza junto con el NDVI y el Índice de condiciones de la vegetación (VCI) para analizar la sequía de la vegetación en situaciones en que los efectos en la agricultura son la principal preocupación.

**Puntos fuertes:** Resolución alta y buena cobertura espacial.

**Puntos débiles:** Posibilidad de alteración de los resultados por la nubosidad; período corto de registro.

**Recursos:** La metodología y los cálculos figuran en los trabajos publicados, y hay recursos en línea de productos en [http://www.star.nesdis.noaa.gov/smcd/emb/vci/VH/vh\\_browse.php](http://www.star.nesdis.noaa.gov/smcd/emb/vci/VH/vh_browse.php).

**Referencia:** Kogan, F.N., 1995: Application of vegetation index and brightness temperature for drought detection. *Advances in Space Research*, 15(11):91–100.

### **Nombre del índice: Índice de condiciones de la vegetación (VCI).**

**Facilidad de uso:** Verde.

**Origen:** Creado a partir del trabajo llevado a cabo por Kogan con la NOAA en Estados Unidos.

**Características:** Al utilizar bandas térmicas de AVHRR, el VCI se utiliza para detectar situaciones de sequía y determinar su inicio, especialmente en las zonas en que los episodios de sequía se localizan y no se distinguen claramente). Se centra en los efectos de la sequía en la vegetación y puede suministrar información sobre el inicio, la duración y la gravedad de la sequía mediante la percepción de los cambios en la vegetación y su comparación con valores históricos.

**Parámetros de entrada:** Datos satelitales de AVHRR.

**Aplicaciones:** Se utiliza junto con el NDVI y el TCI para analizar la vegetación en situaciones de sequía que afectan a la agricultura.

**Puntos fuertes:** Resolución alta y buena cobertura espacial.

**Puntos débiles:** Posibilidad de alteración de los resultados por la nubosidad; período corto de registro.

**Recursos:** La metodología y los cálculos figuran en los trabajos publicados, y hay recursos en línea de productos en [http://www.star.nesdis.noaa.gov/smcd/emb/vci/VH/vh\\_browse.php](http://www.star.nesdis.noaa.gov/smcd/emb/vci/VH/vh_browse.php).

#### **Referencias:**

Kogan, F.N., 1995: Application of vegetation index and brightness temperature for drought detection. *Advances in Space Research*, 15(11):91–100.

Liu, W.T. y F.N. Kogan, 1996: Monitoring regional drought using the Vegetation Condition Index. *International Journal of Remote Sensing*, 17(14):2761–2782.

### **Nombre del índice: Índice de respuesta a la sequía de la vegetación (VegDRI).**

**Facilidad de uso:** Verde.

**Origen:** Creado por un equipo de científicos del NDMC, el Centro para la Observación y Ciencia de los Recursos Terrestres del Servicio Geológico de Estados Unidos y el Centro sobre el Terreno de Estudios Geológicos de Flagstaff (Estados Unidos).

**Características:** Creado como índice de sequía para vigilar el estrés causado por la sequía en la vegetación mediante una combinación de indicadores obtenidos por teledetección y de indicadores basados en el clima, así como otros datos biofísicos y sobre el uso de la tierra.

**Parámetros de entrada:** SPI, PDSI, porcentaje de verdor estacional anual, anomalía en el inicio de las estaciones, cobertura del suelo, capacidad hídrica disponible del suelo, agricultura de regadío y regiones ecológicas definidas. Dado que algunos de los datos de entrada son variables derivadas, hacen falta más datos de entrada.

**Aplicaciones:** Se utiliza principalmente como indicador a corto plazo de la sequía para aplicaciones agrícolas.

**Puntos fuertes:** Técnica innovadora e integrada que utiliza datos de observación en superficie y datos obtenidos por teledetección, así como avances tecnológicos en materia de prospección de datos.

**Puntos débiles:** Período corto de registro debido al uso de datos de teledetección. No resulta útil fuera de estación o durante períodos de escasa vegetación o sin vegetación.

**Recursos:** En la referencia que figura a continuación se pueden consultar los métodos utilizados y una descripción de los cálculos. Véase asimismo <http://vegdiri.unl.edu/>.

**Referencia:** Brown, J.F., B.D. Wardlow, T. Tadesse, M.J. Hayes y B.C. Reed, 2008: The Vegetation Drought Response Index (VegDRI): a new integrated approach for monitoring drought stress in vegetation. *GIScience & Remote Sensing*, 45:16–46.

### Nombre del índice: Índice de salud de la vegetación (VHI).

**Facilidad de uso:** Verde.

**Origen:** Resultado del trabajo llevado a cabo por Kogan con la NOAA en Estados Unidos.

**Características:** Una de las primeras tentativas de vigilar y detectar los efectos de la agricultura relacionados con la sequía mediante datos obtenidos por teledetección. Se utilizan datos de AVHRR obtenidos en los canales visible, del infrarrojo y de cerca del infrarrojo para detectar y clasificar el estrés en la vegetación causado por la sequía.

**Parámetros de entrada:** Datos satelitales de AVHRR.

**Aplicaciones:** Se utiliza para detectar y vigilar sequías que afectan a la agricultura en todo el mundo.

**Puntos fuertes:** Cobertura de todo el mundo y alta resolución.

**Puntos débiles:** El período de registro de los datos satelitales es corto.

**Recursos:** En los trabajos publicados figuran los cálculos y estudios de casos de ejemplo. Se pueden consultar mapas VHI en línea en [http://www.star.nesdis.noaa.gov/smcd/emb/vci/VH/vh\\_browse.php](http://www.star.nesdis.noaa.gov/smcd/emb/vci/VH/vh_browse.php).

### Referencias:

Kogan, F.N., 1990: Remote sensing of weather impacts on vegetation in non-homogeneous areas. *International Journal of Remote Sensing*, 11:1405–1419.

Kogan, F.N., 1997: Global drought watch from space. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 78:621–636.

Kogan, F.N., 2001: Operational space technology for global vegetation assessments. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 82(9):1949–1964.

### **Nombre del índice: Índice de satisfacción de la demanda de agua (WRSI) y WRSI geoespacial.**

**Facilidad de uso:** Verde.

**Origen:** Creado por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura para detectar e investigar la producción agrícola en zonas expuestas a la hambruna del mundo. La Red de sistemas de alerta temprana para casos de hambruna llevó a cabo trabajos complementarios al respecto.

**Características:** Se utiliza para vigilar el rendimiento de los cultivos durante el período de crecimiento de los cultivos, y se basa en la cantidad de agua disponible para el cultivo. Se trata del cociente entre la evapotranspiración real y la evapotranspiración potencial. Cada cultivo tiene su propio cociente, que se basa en el desarrollo del cultivo y las relaciones conocidas entre los rendimientos y el estrés ocasionado por la sequía.

**Parámetros de entrada:** Modelos de desarrollo de los cultivos, coeficientes de los cultivos y datos satelitales.

**Aplicaciones:** Se utiliza para vigilar el progreso del desarrollo del cultivo y el estrés relacionado con la agricultura.

**Puntos fuertes:** Resolución alta y buena cobertura espacial en todos los terrenos.

**Puntos débiles:** El estrés relacionado con factores distintos al agua disponible puede influir en los resultados. Las estimaciones de precipitaciones por satélite tienen cierto grado de error que influirá en los resultados de los modelos de los cultivos utilizados y en el balance de la evapotranspiración.

**Recursos:**

<http://chg.geog.ucsb.edu/tools/geowrsi/index.html>

[http://iridl.ldeo.columbia.edu/documentation/usgs/adds/wrsi/WRSI\\_readme.pdf](http://iridl.ldeo.columbia.edu/documentation/usgs/adds/wrsi/WRSI_readme.pdf)

**Referencia:** Verdin, J. y R. Klaver, 2002: Grid-cell-based crop water accounting for the famine early warning system. *Hydrological Processes*, 16(8):1617–1630.

### **Nombre del índice: Índice diferencial de agua normalizado (NDWI) e Índice de agua en la superficie terrestre (LSWI).**

**Facilidad de uso:** Verde.

**Origen:** Creados a partir del trabajo realizado por Gao a mediados de la década de 1990 en el Centro Espacial Goddard de la Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio (NASA) en Estados Unidos.

**Características:** Muy similares a la metodología del NDVI, pero utilizan el canal cerca del infrarrojo para vigilar el contenido de agua de la cubierta vegetal. Los cambios en la cubierta vegetal se utilizan para detectar períodos de estrés ocasionados por la sequía.

**Parámetros de entrada:** Información satelital de varios canales del espectro cerca del infrarrojo.

**Aplicaciones:** Se utilizan para vigilar la sequía que afecta a la agricultura como método de detección del estrés.

**Puntos fuertes:** Resolución alta y buena cobertura espacial en todos los terrenos. Diferentes al NDVI, puesto que utilizan señales diferentes.

**Puntos débiles:** El estrés en el dosel podría estar causado por efectos que no tienen que ver con la sequía, y es difícil discernirlos con la mera utilización del NDWI. El período de registro de los datos satelitales es corto, lo que dificulta los estudios climáticos.

**Recursos:** En los trabajos publicados se describe la metodología y los cálculos basados en los datos de MODIS que se utilizan: <http://www.eomf.ou.edu/modis/visualization/>.

#### **Referencias:**

Chandrasekar, K., M.V.R. Sessa Sai, P.S. Roy y R.S. Dwevedi, 2010: Land Surface Water index (LSWI) response to rainfall and NDVI using the MODIS vegetation index product. *International Journal of Remote Sensing*, 31:3987–4005.

Gao, B.C., 1996: NDWI—a Normalized Difference Water Index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sensing of Environment*, 58(3):257–266.

**Nota:** El concepto y los cálculos del NDWI son muy similares a los del Índice de agua en la superficie terrestre (LSWI).

#### **Nombre del índice: Índice de vegetación ajustado al suelo (SAVI).**

**Facilidad de uso:** Rojo.

**Origen:** Creado por Huete en la Universidad de Arizona (Estados Unidos) a finales de la década de 1980. La idea era disponer de un modelo mundial para vigilar el suelo y la vegetación a partir de datos obtenidos por teledetección.

**Características:** El SAVI es similar al NDVI: los índices espectrales se pueden calibrar de manera que las variaciones de los suelos estén normalizadas y no influyan en las mediciones de la cubierta vegetal. Estas mejoras en el NDVI son útiles debido a que el SAVI tiene en cuenta las variaciones en los suelos.

**Parámetros de entrada:** Datos obtenidos por teledetección, que posteriormente se comparan con gráficos de superficie de distinta vegetación.

**Aplicaciones:** Útil para la vigilancia de los suelos y la vegetación.

**Puntos fuertes:** La asociación de datos de alta resolución y alta densidad con datos obtenidos por teledetección proporciona una cobertura espacial muy buena.

**Puntos débiles:** Los cálculos son complejos, y resulta difícil obtener datos para su ejecución operativa. Los períodos cortos de registro asociados a los datos satelitales pueden influir en los análisis climáticos.

**Recursos:** La metodología y los cálculos asociados se explican debidamente en los trabajos publicados.

**Referencia:** Huete, A.R., 1988: A Soil-adjusted Vegetation Index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*, 25(3):295–309.

### 7.5 Mixtos o modelados

#### Nombre del índice: **Indicador combinado de sequía (CDI).**

**Facilidad de uso:** Verde.

**Origen:** Creado por Sepulcre-Canto y otros en el Observatorio Europeo de la Sequía como índice de sequía para Europa; combina el SPI, el SMA y la fracción de radiación fotosintéticamente activa absorbida, a modo de indicador de las sequías que afectan a la agricultura.

**Características:** Compuesto por tres niveles de aviso (vigilancia, advertencia y alerta) mediante la integración de tres indicadores de sequía: SPI, humedad del suelo y datos de la vegetación obtenidos por teledetección. Se emite un aviso de vigilancia cuando existe escasez de precipitación; se emite un aviso de advertencia cuando la escasez de precipitación se traduce en una escasez de humedad del suelo, y se emite un aviso de alerta cuando los déficits de precipitación y humedad del suelo se traducen en un efecto en la vegetación.

**Parámetros de entrada:** SPI calculado a partir de los datos de precipitación de las estaciones de toda Europa; en este caso, se utiliza el SPI de tres meses. Los datos de la humedad del suelo se obtienen utilizando el modelo LISFLOOD; la fracción de radiación fotosintéticamente activa absorbida es facilitada por la Agencia Espacial Europea.

**Aplicaciones:** Se utiliza como indicador de sequías con efectos en la agricultura.

**Puntos fuertes:** La cobertura espacial es buena y de alta resolución, mediante la combinación de datos obtenidos por teledetección y datos obtenidos en superficie.

**Puntos débiles:** Quizá utilizar un único valor del SPI no sea la mejor opción en todas las situaciones, y no representa las condiciones que se arrastran de una estación a otra. Difícil de replicar y actualmente no disponible para zonas fuera de Europa.

**Recursos:** Alojado y mantenido por el Observatorio Europeo de la Sequía en el Centro Común de Investigación de la Comisión Europea: <http://edo.jrc.ec.europa.eu/edov2/php/index.php?id=1000>.

**Referencia:** Sepulcre-Canto, G., S. Horion, A. Singleton, H. Carrao y J. Vogt, 2012: Development of a Combined Drought Indicator to detect agricultural drought in Europe. *Natural Hazards and Earth Systems Sciences*, 12:3519–3531.

#### Nombre del índice: **Sistema mundial integrado de vigilancia y predicción de sequías (GIDMaPS).**

**Facilidad de uso:** Verde.

**Origen:** Creado a partir del trabajo realizado por Hao y otros en la Universidad de California en Irvine (Estados Unidos), como sistema para vigilar y predecir la sequía en todo el planeta.

**Características:** Proporciona información de sequías para el SPI, la humedad del suelo y el Índice estandarizado de sequía de múltiples variables (MSDI). El GIDMaPS utiliza asimismo datos satelitales combinados con herramientas de asimilación de datos. El producto es generado en retículas en tiempo casi real, y combina la vigilancia y la predicción como manera de vigilar, evaluar y predecir las sequías con distintos efectos.

**Parámetros de entrada:** Utiliza un algoritmo en que los datos obtenidos por teledetección se combinan con el índice del Sistema mundial de asimilación de datos de la superficie terrestre (GLDAS) para generar productos destinados a tres índices de sequía y a predicciones estacionales.

**Aplicaciones:** Utilizado para fines de vigilancia y predicción mediante la producción de valores para el SPI, el MSDI y el Índice normalizado de la humedad del suelo. Se puede emplear en la agricultura y otros sectores.

**Puntos fuertes:** Los datos reticulares y mundiales representan adecuadamente todas las zonas. Al contar con una escala de humedad y una escala de sequía, el GIDMaPS se puede utilizar para vigilar fenómenos distintos de la sequía. Es excelente para zonas de las que se carece de buenas observaciones en superficie con períodos prolongados de registro. Es relativamente fácil de utilizar, debido a que se puede calcular sin necesidad de que los usuarios introduzcan datos de entrada.

**Puntos débiles:** Quizá los tamaños de las retículas no representen equitativamente todas las zonas y regímenes climáticos. El período de registro desde 1980 es muy corto a la hora de contemplar aplicaciones climáticas. Para modificarlo, se deberían obtener el código y los datos de entrada.

**Recursos:** En los trabajos publicados se explica adecuadamente el proceso, y hay recursos y mapas en línea de fácil acceso: <http://drought.eng.uci.edu/>.

**Referencia:** Hao, Z., A. AghaKouchak, N. Nakhjiri y A. Farahmand, 2014: Global integrated drought monitoring and prediction system. *Scientific Data*, 1:1–10.

### **Nombre del índice: Sistema mundial de asimilación de datos de la superficie terrestre (GLDAS).**

**Facilidad de uso:** Verde.

**Origen:** Rodell coordinó el trabajo, en el que participaron científicos de la NASA y la NOAA en Estados Unidos.

**Características:** Utiliza un sistema de datos de observación en superficie y datos obtenidos por teledetección junto con modelos de la superficie terrestre y técnicas de asimilación de datos para suministrar datos sobre las condiciones de la superficie terrestre. Los productos comprenden características de la humedad del suelo, que son un buen indicador de la sequía.

**Parámetros de entrada:** Modelos de la superficie terrestre, observaciones meteorológicas en superficie, clasificaciones de vegetación y datos satelitales.

**Aplicaciones:** Útil para determinar predicciones de flujos y caudales fluviales, así como componentes de la escorrentía, sobre la base de las condiciones actuales; ideal para la vigilancia de sequías que tienen varios efectos.

**Puntos fuertes:** Al ser de ámbito mundial y estar disponible a una resolución alta, puede representar la mayoría de las zonas. Útil para vigilar la aparición de sequías en zonas con deficiencia de datos.

**Puntos débiles:** El tamaño de la retícula no es suficientemente fino para las naciones insulares. Solo las zonas que carecen de observaciones en superficie en tiempo casi real están representadas mediante el proceso de asimilación de datos.

**Recursos:** En los trabajos publicados se describen adecuadamente la metodología y los datos de entrada. El producto está disponible en línea.

<https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/nldas-north-american-land-data-assimilation-system-monthly-climatologies>

<http://ldas.gsfc.nasa.gov/nldas/>

<http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/services/grads-gds/gldas>

**Referencias:**

Mitchell, K., D. Lohman, P. Houser, E. Wood, J. Schaake, A. Robock, B. Cosgrove, J. Sheffield, Q. Duan, L. Luo, R. Higgins, R. Pinker, J. Tarpley, D. Lettenmaier, C. Marshall, J. Entin, M. Pan, W. Shi, V. Koren, J. Meng, B. Ramsay y A. Bailey, 2004: The multi-institution North American Land Data Assimilation System (NLDAS): utilizing multiple GCIP products and partners in a continental distributed hydrological modelling system. *Journal of Geophysical Research*, 109:D07S90, doi:10.1029/2003JD003823.

Rodell, M., P. Houser, U. Jambor, J. Gottschalck, K. Mitchell, C.-J. Meng, K. Arsenault, B. Cosgrove, J. Radakovich, M. Bosilovich, J. Entin, J. Walker, D. Lohmann y D. Toll, 2004: The Global Land Data Assimilation System. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 85(3):381–394.

Xia, Y., K. Mitchell, M. Ek, J. Sheffield, B. Cosgrove, E. Wood, L. Luo, C. Alonge, H. Wei, J. Meng, B. Livneh, D. Lettenmaier, V. Koren, Q. Duan, K. Mo, Y. Fan y D. Mocko, 2012: Continental-scale water and energy flux analysis and validation for the North American Land Data Assimilation System project phase 2 (NLDAS-2): 1. Intercomparison and application of model products. *Journal of Geophysical Research*, 117:D03109, doi:10.1029/2011JD016048.

**Nombre del índice: Índice estandarizado de sequía de múltiples variables (MSDI).****Facilidad de uso:** Verde.**Origen:** Creado por Hao y AghaKouchak en la Universidad de California en Irvine (Estados Unidos).

**Características:** Utiliza información de la precipitación y la humedad del suelo para detectar y clasificar episodios de sequía mediante la investigación de los déficits de precipitación y de humedad del suelo. Es útil para detectar episodios de sequía en casos en que es posible que los indicadores habituales basados en la precipitación o los indicadores basados en la humedad del suelo no indiquen la existencia de sequía.

**Parámetros de entrada:** Se necesitan datos mensuales de la precipitación y la humedad del suelo procedentes de los sistemas de Análisis retrospectivo de la era moderna (MERRA)-Land. Los datos MERRA-Land se generan en una retícula de  $0,66^\circ \times 0,50^\circ$  desde 1980.

**Aplicaciones:** Útil para detectar y vigilar la sequía en casos en que la precipitación y la humedad del suelo contribuyen considerablemente a los efectos.

**Puntos fuertes:** Los datos reticulares y mundiales representan adecuadamente todas las zonas. Al contar con una escala de humedad y una escala de sequía, se puede utilizar para vigilar fenómenos distintos de la sequía. Es excelente para zonas de las que se carece de buenas observaciones en superficie con períodos prolongados de registro. Es relativamente fácil de utilizar, debido a que se puede calcular sin necesidad de que los usuarios introduzcan datos de entrada. Se pueden obtener distintos índices a partir del producto del MSDI.

**Puntos débiles:** Quizá el tamaño de la retícula no represente equitativamente todas las zonas y regímenes climáticos. El período de registro desde 1980 es muy corto a la hora de contemplar aplicaciones climáticas. Para modificarlo, se deberían obtener el código y los datos de entrada. No se producen todas las escalas temporales para los productos del SPI y del Índice normalizado de la humedad del suelo.

**Recursos:** En los trabajos publicados se explica adecuadamente el proceso, y hay recursos y mapas en línea de fácil acceso: <http://drought.eng.uci.edu/>.

**Referencia:** Hao, Z. y A. AghaKouchak, 2013: Multivariate Standardized Drought Index: a multi-index parametric approach for drought analysis. *Advances in Water Resources*, 57:12–18.



**Nombre del índice: Vigilancia de la sequía en Estados Unidos (USDМ).****Facilidad de uso:** Verde.

**Origen:** Creado por Svoboda y otros a finales de la década de 1990 a modo de análisis de las condiciones de sequía mediante los resultados de muchos indicadores y datos y sobre la base de la comparación de los datos actuales con las condiciones históricas. Este trabajo constituyó el primer enfoque “mixto” operativo aplicado en Estados Unidos.

**Características:** Utiliza un método de clasificación por percentiles que permite comparar de manera equivalente los índices e indicadores de distintos períodos de registro. Presenta una escala con cinco niveles de intensidad: desde condiciones de sequía anormal que se producen cada tres a cinco años, hasta condiciones excepcionales de sequía que se producen cada 50 años. Es flexible en el sentido de que no hay un número fijo de datos de entrada, y presenta cierta subjetividad que posibilita la inclusión de efectos relacionados con la sequía en el análisis.

**Parámetros de entrada:** Flexible, dado que no hay un número establecido de indicadores. Al principio solo se podían utilizar unos pocos datos de entrada; actualmente, la construcción del USDМ comprende el análisis de 40 a 50 datos de entrada. En el análisis se incluyen índices de sequía, la humedad del suelo, datos hidrológicos, datos climatológicos, datos modelados y datos obtenidos por teledetección. El USDМ es lo suficientemente flexible para incorporar los nuevos indicadores que van apareciendo.

**Aplicaciones:** Idóneo para la vigilancia de sequías que tienen numerosos efectos, especialmente en la agricultura y los recursos hídricos, durante todas las estaciones en todos los regímenes climáticos. Se trata de un producto semanal, pero puede adaptarse para la obtención de análisis mensuales.

**Puntos fuertes:** Utiliza muchos índices e indicadores, de manera que los resultados finales son más fiables. Es flexible, por lo que permite satisfacer las necesidades de distintos usuarios. Fue innovador en el sentido de que detectaba la sequía y la clasificaba por su intensidad, y ofrece la función de analizar datos de distintas escalas temporales mediante la metodología de clasificación por percentiles.

**Puntos débiles:** Se necesitan datos operativos, dado que los mejores resultados se obtendrán si el análisis incorpora datos de entrada actuales en su mayoría. Si solo se dispone de unos pocos datos de entrada, el análisis del USDМ es más precario, pero sigue siendo aplicable.

**Recursos:** La metodología se explica adecuadamente en los trabajos publicados y en línea: <http://droughtmonitor.unl.edu/>.

**Referencia:** Svoboda, M., D. Lecomte, M. Hayes, R. Heim, K. Gleason, J. Angel, B. Rippey, R. Tinker, M. Palecki, D. Stooksbury, D. Miskus y S. Stephens, 2002: The drought monitor. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 83(8):1181–1190.

**APÉNDICE: RESULTADOS DE LA ENCUESTA**

Cada cuatro años, la Comisión de Meteorología Agrícola (CMAg) de la OMM solicita a los Servicios Meteorológicos e Hidrológicos Nacionales (SMHN) que cumplimenten una encuesta acerca de los informes nacionales sobre los progresos realizados en meteorología agrícola. En la encuesta más reciente (2010–2014), se solicitaba a los SMHN que enumeraran los índices de sequía que utilizaban actualmente en el servicio o el país/territorio. En el cuadro 2 figura una lista preliminar de los índices de sequía según las respuestas a la encuesta. Téngase en cuenta que no se trata de una lista exhaustiva de todos los índices de sequía en uso, pero proporciona una representación apropiada de los que se utilizan o están disponibles actualmente. El enunciado exacto de la pregunta que figuraba en la encuesta era el siguiente: “Enumere los cinco índices de sequía más utilizados en su servicio”.

**Cuadro 2. Lista preliminar de los índices de sequía según las respuestas a la encuesta**

<i>País/territorio</i>	<i>Índices de sequía</i>
Alemania	Índice normalizado de precipitación; Índice normalizado de temperatura; Balance hídrico climático; humedad del suelo expresada como agua disponible para las plantas de la capacidad de retención a distintas profundidades
Argentina	Índice normalizado de precipitación; quintiles; balance hídrico del suelo; probabilidad de aparición; período máximo de días sin precipitación
Austria	Índice normalizado de precipitación; deciles de precipitación
Belarús	Modelos de productividad de los cultivos agrícolas; índice de humedad de Shashko; medición de la humedad de Protserova; reservas de humedad en el suelo; número de días al mes con humedad relativa $\leq 30\%$
Bélgica	Sequía meteorológica; déficit de precipitación
Belize	Índice normalizado de precipitación
Bosnia y Herzegovina	Índice normalizado de precipitación; Coeficiente hidrotérmico de Selyaninov; Índice de aridez; Índice de severidad de sequía de Palmer; Porcentaje de precipitación habitual; evapotranspiración de referencia; balance hídrico del suelo
Brasil	Índice normalizado de precipitación; Índice de severidad de sequía de Palmer; Índice estandarizado de evapotranspiración; Índice de humedad de los cultivos; deciles y quintiles; índices de sequía específicos para cultivos
Bulgaria	Índice de humedad del suelo; Índice de aridez; Índice de Thornthwaite; Índice normalizado de precipitación; Índice de severidad de sequía de Palmer; Coeficiente hidrotérmico de Selyaninov
Canadá	Índice normalizado de precipitación; Índice de respuesta a la sequía de la vegetación; desviación de la precipitación; Índice de severidad de sequía de Palmer; índices mixtos utilizados en modelo de prueba
Chile	Índice normalizado de precipitación; Índice diferencial normalizado de vegetación; Porcentaje de precipitación habitual
China	Índice de déficit hídrico de los cultivos; Índice de humedad de los cultivos; Índice de anomalía de la precipitación
Chipre	Índice normalizado de precipitación; Índice de intensidad de la sequía de Bhalme–Mooley
Côte d’Ivoire	Índice de satisfacción de la demanda de agua; balance hídrico
Croacia	Índice normalizado de precipitación; vigilancia de las condiciones de sequía/humedad y predicción a siete días; precipitación acumulada; diagrama de Walter; anomalías mensuales de la temperatura y la precipitación
Eslovenia	Anomalía de la precipitación, Índice normalizado de precipitación; balance hídrico meteorológico acumulado; índice decenal de estrés ocasionado por la sequía; días secos consecutivos

<i>País/territorio</i>	<i>Índices de sequía</i>
España	Índice normalizado de precipitación; contenido de agua del suelo (agua disponible calculada en forma de porcentaje de capacidad hídrica del suelo a partir de un modelo de balance hídrico del suelo)
Estados Unidos de América	Índice normalizado de precipitación; Índice de severidad de sequía de Palmer; Índice de humedad de los cultivos; Índice del abastecimiento de las aguas superficiales; Porcentaje de precipitación habitual
ex República Yugoslava de Macedonia	Índice normalizado de precipitación; deciles; Índice de gravedad de la sequía de Palmer; Índice de aridez; Índice de Lang
Federación de Rusia	Relación de la precipitación mensual con la suma de las temperaturas; relación de la precipitación con el déficit medio anual de humedad del aire; relación de almacenamiento de agua del suelo durante el período de suma del déficit de humedad del aire correspondiente al mismo período (multiplicado por 0,375); número de días con humedad relativa del aire por debajo del 30%; número de días con temperatura del aire máxima por encima de los 25 °C; reservas de humedad del suelo a capas del suelo a 0–20, 0–50 y 0–100 cm; suma de las condiciones meteorológicas anómalas; desviaciones de la temperatura del aire media; suma de la precipitación y reservas de agua en la capa del suelo a 1 m de la norma
Grecia	Índice normalizado de precipitación; Índice de severidad de sequía de Palmer; Índice para reclamaciones por sequía; Índice de sequía de Palfai
Hong Kong, China	Índice normalizado de precipitación
Israel	Índice normalizado de precipitación; relación de las medias de precipitación
Jamaica	Índice normalizado de precipitación; porcentaje de la media de 30 años durante dos meses
Jordania	Índice normalizado de precipitación; Índice de aridez
Kazajstán	Coficiente hidrotérmico de Selyaninov; Índice normalizado de precipitación
Libia	Índice normalizado de precipitación
Lituania	Coficiente hidrotérmico de Selyaninov; Índice normalizado de precipitación
Nueva Zelandia	Días de déficit de humedad del suelo; Índice normalizado de precipitación; profundidad del déficit de evapotranspiración potencial; deciles y anomalías de la precipitación; análisis espaciales de la sequía
Pakistán	Índice normalizado de precipitación; pPorcentaje de precipitación habitual; porcentaje de desviación; Índice diferencial normalizado de vegetación; temperatura de la superficie terrestre
Perú	Índice de severidad de sequía de Palmer; Índice normalizado de precipitación; Índice normalizado de escorrentía; Índice estandarizado de precipitación y evapotranspiración
República Checa	Sequía agrometeorológica; modelado de la evapotranspiración y la humedad del suelo reales y potenciales con modelo de balance hídrico operativo; balance hídrico climático; porcentaje de precipitación comparado con el valor habitual; mediciones hidrológicas (por ejemplo, niveles de los embalses y caudales fluviales)
República Democrática del Congo	Porcentaje de precipitación habitual
República Dominicana	Índice normalizado de precipitación
República Islámica de Irán	De cálculo diario: Índice efectivo de sequía, Índice de aridez, Porcentaje de precipitación habitual; de cálculo semanal: Índice de las condiciones de temperatura, Índice de condiciones de la vegetación, Índice de salud de la vegetación; calculados mensualmente: Índice normalizado de precipitación, Índice para reclamaciones por sequía
República Unida de Tanzania	Índice normalizado de precipitación; porcentaje de precipitación habitual
Sri Lanka	Índice normalizado de precipitación

País/territorio	Índices de sequía
Suiza	Índice estandarizado de precipitación y evapotranspiración; anomalía de precipitación; Índice de sequía de referencia para la agricultura
Tailandia	Índice de humedad disponible; Índice normalizado de precipitación
Trinidad y Tabago	Índice normalizado de precipitación; índices de sequía de Palmer
Turquía	Índice normalizado de precipitación; Porcentaje de precipitación habitual; Índice de severidad de sequía de Palmer
Ucrania	Coeficiente hidrotérmico de Selyaninov; Coeficiente de suministro de humedad de Protserov; Índice de aridez de Ped; Índice de productividad meteorológica de Bagrov; Índice normalizado de precipitación
Uzbekistán	Número de días con temperaturas superiores a los 40 °C; Índice de aridez (cantidad anual de precipitación, mm/año); suministro de escorrentía de agua durante el período de crecimiento de los cultivos (abril a septiembre); acumulación de nieve; reducción en la humedad del suelo hasta 4 mm o menos

## BIBLIOGRAFÍA

En la presente sección se recopilan todas las publicaciones citadas en los capítulos 1 a 6, o que se utilizaron para elaborar el marco del presente manual. Las publicaciones específicas de cada índice o indicador se pueden consultar en la sección de referencias de los resúmenes que figuran en el capítulo 7.

Eriyagama, N., V. Smakhtin y N. Gamage, 2009: *Mapping Drought Patterns and Impacts: a Global Perspective*. IWMI Research Report No. 133. Colombo, Colombo, Instituto Internacional del Manejo del Agua (IWMI), [http://www.iwmi.cgiar.org/Publications/IWMI\\_Research\\_Reports/PDF/PUB133/RR133.pdf](http://www.iwmi.cgiar.org/Publications/IWMI_Research_Reports/PDF/PUB133/RR133.pdf).

Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), 2012: *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation*. Informe Especial de los Grupos de Trabajo I y II del IPCC (C.B. Field, V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor y P.M. Midgley, eds.). Cambridge y Nueva York, Cambridge University Press.

Hayes, M.J., 2011: *Comparison of Major Drought Indices: Introduction*. Centro Nacional de Mitigación de Sequías (NDMC), <http://drought.unl.edu/Planning/Monitoring/ComparisonofIndicesIntro.aspx>.

Hayes, M., M. Svoboda, N. Wall y M. Widhalm, 2011: The Lincoln Declaration on Drought Indices: universal meteorological drought index recommended. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 92:485–488.

Heim, R.R., 2002: A review of twentieth-century drought indices used in the United States. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 83:1149–1165.

Hisdal, H. y L.M. Tallaksen (eds.), 2000: *Drought Event Definition*. 6° informe técnico del proyecto ARIDE, Evaluación del efecto regional de las sequías en Europa, Departamento de Geofísica, Universidad de Oslo (Noruega).

Keyantash, J. y J.A. Dracup, 2002: The quantification of drought: an evaluation of drought indices. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 83:1167–1180.

Lawrimore, J., R.R. Heim, M. Svoboda, V. Swail y P.J. Englehart, 2002: Beginning a new era of drought monitoring across North America. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 83:1191–1192.

Lloyd-Hughes, B., 2014: The impracticality of a universal drought definition. *Theoretical and Applied Climatology*, 117(3):607–611, doi:10.1007/s00704-013-1025-7.

McKee, T.B., N.J. Doesken y J. Kleist, 1993: *The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales*. . Actas de la 8ª Conferencia sobre Climatología Aplicada, 17 a 23 de enero de 1993, Anaheim, CA. Boston, MA, American Meteorological Society.

Mishra, A.K. y V.P. Singh, 2010: A review of drought concepts. *Journal of Hydrology*, 391:202–216.

Mishra, A.K. y V.P. Singh, 2011: Drought modeling. A review. *Journal of Hydrology*, 403:157–175.

Organización Meteorológica Mundial, 2006: *Vigilancia y alerta temprana de la sequía: conceptos, progresos y desafíos futuros* (OMM-Nº 1006), Ginebra, <http://www.wamis.org/agm/pubs/brochures/wmo1006es.pdf>.

Organización Meteorológica Mundial (OMM) , 2012: *Guía del usuario sobre el Índice normalizado de precipitación* (OMM-Nº 1090), Ginebra, <https://drive.google.com/file/d/0BwdvoC9AeWjUQ2hJR3lzTIFPM3M/edit?usp=sharing>.

Organización Meteorológica Mundial (OMM) y Asociación Mundial para el Agua, 2014: *National Drought Management Policy Guidelines: A Template for Action* (D.A. Wilhite). Serie 1 de herramientas y directrices del Programa de gestión integrada de sequías. OMM, Ginebra, y Asociación Mundial para el Agua, Estocolmo, [http://www.droughtmanagement.info/literature/IDMP\\_NDMPG\\_en.pdf](http://www.droughtmanagement.info/literature/IDMP_NDMPG_en.pdf).

Organización Meteorológica Mundial (OMM), Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación (UNCCD) y Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), 2013: *Reunión de alto nivel de políticas nacionales sobre la sequía*, Ginebra, 11 a 15 de marzo de 2013. Documento de política: Política nacional de gestión de sequías Ginebra, [http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/drought/hmndp/documents/PolicyDocumentRev\\_12-2013\\_Es.pdf](http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/drought/hmndp/documents/PolicyDocumentRev_12-2013_Es.pdf).

Pulwarty, R.S. y M. Sivakumar, 2014: Information systems in a changing climate: early warnings and drought risk management. *Weather and Climate Extremes*, 3:14–21.

Sivakumar, M.V.K., R.P. Motha, D.A. Wilhite y D.A. Wood (eds.), 2011: *Agricultural Drought Indices*. Actas de la reunión de un grupo de expertos sobre índices de sequía agrícola organizada por la Organización Meteorológica Mundial y la Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres, Murcia (España), 2 a 4 de junio de 2010 (AGM-11, WMO/TD No. 1572; WAOB-2011). Ginebra, [http://www.droughtmanagement.info/literature/WMO\\_agricultural\\_drought\\_indices\\_proceedings\\_2010.pdf](http://www.droughtmanagement.info/literature/WMO_agricultural_drought_indices_proceedings_2010.pdf).

Svoboda, M., B.A. Fuchs, C. Poulsen y J.R. Nothwehr, 2015: The drought risk atlas: enhancing decision support for drought risk management in the United States. *Journal of Hydrology*, 526:274–286, doi:10.1016/j.jhydrol.2015.01.006.

Svoboda, M., D. LeComte, M. Hayes, R. Heim, K. Gleason, J. Angel, B. Rippey, R. Tinker, M. Palecki, D. Stooksbury, D. Miskus y S. Stephens, 2002: The drought monitor. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 83(8):1181–1190.

Wardlow, B.D., M.C. Anderson y J.P. Verdin (eds.), 2012: *Remote Sensing of Drought: Innovative Monitoring Approaches*. Boca Raton, FL, CRC Press.

Wilhite, D. y M. Glantz, 1985: Understanding the drought phenomenon: the role of definitions. *Water International*, 10:111–120.

Zargar, A., R. Sadiq, B. Naser y F.I. Khan, 2011: A review of drought indices. *Environmental Reviews*, 19:333–349.

El Programa de gestión integrada de sequías fue presentado por la Organización Meteorológica Mundial y la Asociación Mundial para el Agua en la Reunión de alto nivel de políticas nacionales sobre la sequía celebrada en marzo de 2013. El Programa colabora con una amplia gama de asociados con el objetivo de apoyar a los interesados a todos los niveles. Brinda a sus asociados orientación normativa y de gestión mediante la generación coordinada a escala mundial de información científica y el intercambio de mejores prácticas y conocimientos para lograr una gestión integrada de la sequía. Contribuye al Marco Mundial para los Servicios Climáticos (MMSC), especialmente en lo que respecta a las esferas prioritarias del MMSC relativas a la reducción de riesgos de desastre, los recursos hídricos, la agricultura y la seguridad alimentaria, la energía y la salud. En particular, el Programa trata de apoyar a las regiones y los países para que formulen políticas más anticipativas en materia de sequía y desarrollen mejores mecanismos de predicción. El presente manual es una contribución a tal fin.

[www.droughtmanagement.info](http://www.droughtmanagement.info)



ORGANIZACIÓN  
METEOROLÓGICA  
MUNDIAL



Asociación Mundial  
para el Agua

Aspirar a un mundo con seguridad hídrica

Para más información, diríjase a:

## Organización Meteorológica Mundial

7 bis, avenue de la Paix – Case postale – CH 1211 Genève 2 – Suiza

### Oficina de comunicación y de relaciones públicas

Tel.: +41 (0) 22 730 83 14/15 – Fax: +41 (0) 22 730 80 27

Correo electrónico: [cpa@wmo.int](mailto:cpa@wmo.int)

### Unidad de apoyo técnico del Programa de gestión integrada de sequías

c/o Departamento del clima y del agua

Tel.: +41 (0) 22 730 83 05 – Fax: +41 (0) 22 730 80 42

Correo electrónico: [idmp@wmo.int](mailto:idmp@wmo.int)

[public.wmo.int](http://public.wmo.int)

## Global Water Partnership Global Secretariat

PO Box 24177, SE-104 51 Stockholm, Suecia

Tel.: +46 8 1213 86 00 – Correo electrónico: [gwp@gwp.org](mailto:gwp@gwp.org)