



MARCO DE LA POLÍTICA DE RESILIENCIA, ADAPTACIÓN Y GESTIÓN DE LA SEQUÍA (DRAMP): DIRECTRICES TÉCNICAS DE APOYO



United Nations
Convention to Combat
Desertification

MARCO DE LA POLÍTICA DE RESILIENCIA, ADAPTACIÓN Y GESTIÓN DE LA SEQUÍA (DRAMP): DIRECTRICES TÉCNICAS DE APOYO



United Nations
Convention to Combat
Desertification

MARCO DE LA POLÍTICA DE RESILIENCIA, ADAPTACIÓN Y GESTIÓN DE LA SEQUÍA: DIRECTRICES TÉCNICAS DE APOYO

Editor: Daniel Tsegai (CNULD)

Author: Neville D. Crossman

Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación (CNULD)

UN Campus Platz der Vereinten Nationen 1

53113 Bonn Alemania

Tel: +49-228 / 815-2800

Fax: +49-228 / 815-2898/99

www.unccd.int

secretariat@unccd.int

Todos los derechos reservados.

La publicación no implica aprobación.

Impreso en la India en papel FSC.

Publicado por la CNULD, Bonn, Alemania

Agosto de 2019

© CNULD, 2019

Todas las fotos © Shutterstock

Descargo de responsabilidad

Las opiniones expresadas en esta publicación no son necesariamente aquellas de las agencias o países involucrados en este proyecto. Las denominaciones empleadas en el Documento y la forma en que aparecen presentados los datos que contiene no implican juicio alguno por parte de los organismos de las Naciones Unidas. A menos que se indique lo contrario, las ideas y opiniones expresadas por los colaboradores no representan necesariamente los puntos de vista de quienes los emplean. Los editores agradecerían que se les notificara de cualquier error que no se haya detectado en el proceso de edición.

Agradecimientos:

Los puntos focales de la CNULD de Egipto, China, Colombia, Brasil y Suiza, Australia, Sudáfrica, la Unión Europea y los Estados Unidos.

CONTENIDO

Lista de acrónimos	v
1. Introducción	1
1.1 Marco de la política de resiliencia, adaptación y gestión de la sequía	1
1.2 Los «3 pilares clave» de la reducción del riesgo de sequía	3
1.3 Objetivo de estas directrices técnicas	4
2. Implementar Sistemas De Supervisión De La Sequía Y Alerta Temprana	5
2.1 Resumen	5
2.2 Definiciones	5
2.3 Selección de indicadores y desencadenantes de sequía	6
2.4 ¿Cuáles son los «mejores» indicadores para supervisar y pronosticar la sequía?	11
2.4.1 Sequía meteorológica	11
2.4.2 Sequía hidrológica	13
2.4.3 Sequía Agrícola	13
2.4.4 Sequía socioeconómica	14
2.4.5 Compuesto	14
2.5 Previsión fiable de la sequía	16
2.6 Una evaluación del riesgo de sequía para supervisión y alerta temprana	18
2.7 Comunicar y responder a las advertencias de sequía	18
3. Evaluar la vulnerabilidad y el riesgo de sequía	19
3.1 Resumen	19
3.2 Definiciones	19
3.3 Evaluaciones de vulnerabilidad a la sequía	20
3.3.1 Definir los componentes de la vulnerabilidad a la sequía	20
3.3.2 Seleccionar variables para la evaluación de vulnerabilidad	21
3.3.3 Preparación de variables para la evaluación de vulnerabilidad	23
3.3.4 Validar el modelo de evaluación de vulnerabilidad	26
4. Limitar los impactos de la sequía y responder mejor a ella	27
4.1 Resumen	27
4.2 Definiciones	27
4.3 Reducir la exposición y aumentar la resiliencia ante la sequía	27
4.3.1 Diversificar y modernizar la agricultura	27
4.3.2 Gestión sostenible de los recursos hídricos y terrestres	28
4.3.3 Comunicación, educación y desarrollo de capacidades	29
4.4 Transferir y compartir los riesgos de sequía	29
5. Recomendaciones	31
6. Referencias	33

FIGURAS

Figura 1.	Marco de la Política de resiliencia, adaptación y gestión de la sequía (DRAMP)	2
Figura 2.	Versión 2.0 de la Clasificación Integrada de las Fases (basada en el área) utilizada para clasificar la hambruna por la Red de Sistemas de Alerta Temprana de Hambruna	6
Figura 3.	El SPI global de 6 meses de diciembre de 2016 a mayo de 2017. Los valores del SPI pueden compararse con una comparación de la desviación estándar de la precipitación de una ubicación a otra. La Tabla 2 explica los valores de la categoría SPI	12
Figura 4.	Índice de estrés agrícola de la FAO para el 1 de junio de 2017	13
Figura 5a.	Monitor de sequía de los Estados Unidos para el 29 de noviembre de 2016	14
Figura 5b.	Monitor de sequía de los Estados Unidos para el 14 de febrero de 2017	14
Figura 6.	Vista esquemática del algoritmo global integrado de supervisión y predicción de sequías	16
Figura 7a.	Pronóstico de sequía estacional sequía observada del USDM para el verano de 2012, que ofrece un ejemplo de un pronóstico muy impreciso	17
Figura 7b.	Pronóstico de sequía estacional sequía observada del USDM para el verano de 2011, que ofrece un ejemplo de pronóstico preciso	17
Figura 8.	Marco metodológico de ejemplo para la evaluación de la vulnerabilidad a la sequía	20
Figura 9.	Marco conceptual que muestra las múltiples dimensiones que se incluirán para evaluar la vulnerabilidad a la sequía	21
Figura 10a.	Ejemplos de evaluaciones de vulnerabilidad a la sequía a nivel de pueblos/Andhra Pradesh, centro-sur de la India	22
Figura 10b.	Ejemplos de evaluaciones de vulnerabilidad a la sequía a nivel nacional/distritos administrativos en Corea del Sur	22
Figura 10c.	Ejemplos de evaluaciones de vulnerabilidad a la sequía a escala continental/países de África	22
Figura 10d.	Ejemplos de evaluaciones de vulnerabilidad a la sequía a escala global	23

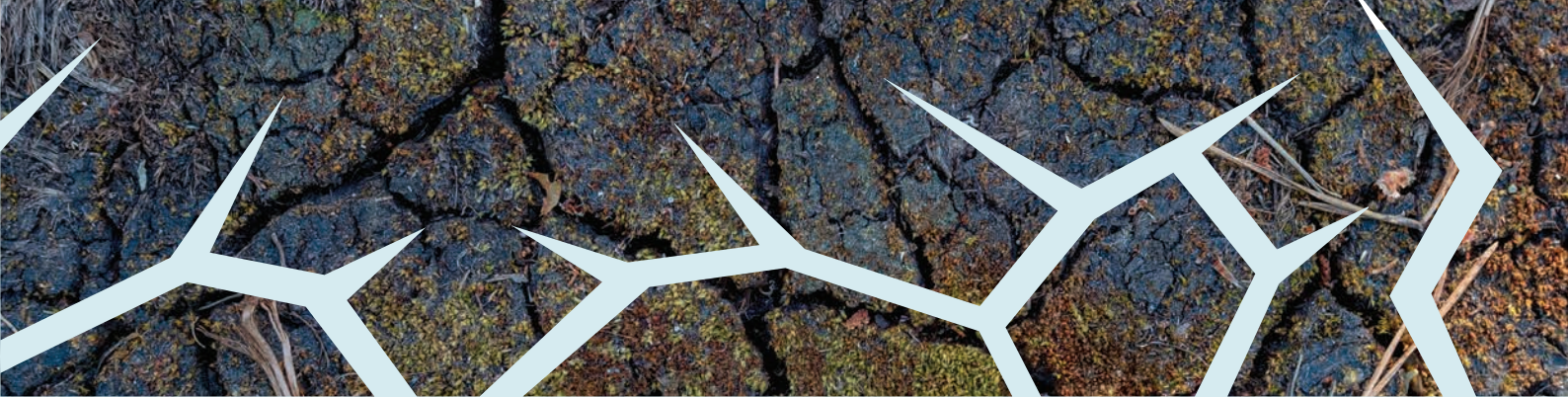
TABLAS

Tabla 1.	Resumen de los principales indicadores e índices de sequía	8
Tabla 2.	Probabilidad de recurrencia del evento de sequía descrito por el SPI	12
Tabla 3.	Las categorías de sequía del USDM y su asociación con los seis índices de entrada	15
Tabla 4.	Dimensiones e indicadores/variables comunes a escala mundial utilizados en las evaluaciones de vulnerabilidad a la sequía	24

LISTA DE ACRÓNIMOS

ASI	Índice de estrés agrícola
CNULD	Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación
CPC	Centro de Predicción del Clima
DRAMP	Política de Resiliencia, Adaptación y Gestión de la Sequía
EDI	Índice de sequía efectiva
GDIS	Sistema mundial de información sobre la sequía
GIDMaPS	Sistema Global Integrado de Predicción y Supervisión de Sequías
GIEWS	Sistema Mundial de Información y Alerta
GWP	Asociación Mundial para el Agua
IDRI	Indicador de fiabilidad de demanda de entrada
IPCC	Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático
IRI	Instituto Internacional de Investigación (sobre Clima y Sociedad)
IWRM	Gestión integrada de los recursos hídricos
MSDI	Índice Estandarizado Multivariado de Sequía
MSRRI	Índice Estandarizado Multivariado de Fiabilidad y Resiliencia
NASA	Administración Nacional para la Aeronáutica y el Espacio (EE. UU.)
NDVI	Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada
OFDA/CRED	Oficina de Asistencia para Desastres en el Extranjero/Centro de Investigación de Epidemiología de Desastres
ONUAA	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
PCA	Análisis de Componentes Principales
PIB	Producto Interior Bruto
SDI	Índice de Sequía de Escorrentía
SPEI	Índice Estandarizado de Evapotranspiración de Precipitación
SPI	Índice Estandarizado de Precipitación
SSFI	Índice de Escorrentía Estandarizado
SSI	Índice de Humedad del Suelo Estandarizado
TIC	Tecnologías de la Información y las Comunicaciones
UNISDR	Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (ahora UNDRR)
UNW-DPC	Programa de ONU-Agua para el Desarrollo de la Capacidad en el Marco del Decenio
USDM	Monitor de Sequía de los Estados Unidos
USGS	Servicio Geográfico de los Estados Unidos
VHI	Índice de Salud de la Vegetación
WMO	Organización Meteorológica Mundial
WRI	Instituto de Recursos Mundiales
WSRI	Indicador de Resiliencia de Almacenamiento de Agua





1 INTRODUCTION

Estas directrices técnicas presentan información práctica para apoyar el desarrollo y la implementación de planes nacionales de resiliencia, adaptación y gestión de la sequía. El presente marco de la Política de resiliencia, adaptación y gestión de la sequía (DRAMP)¹ documenta la reciente evolución de la sequía vista en el contexto de la reducción del riesgo de desastres y propone un marco que integra seis objetivos para las naciones para reducir la exposición y la vulnerabilidad a la sequía, aumentar la resiliencia, transformar sus economías e instituciones políticas y culturales, desarrollar planes integrales de gestión de la sequía y compartir los riesgos de la sequía. Solo se puede avanzar en la implementación del marco DRAMP si hay pautas disponibles para apoyar el desarrollo y la implementación de sistemas para supervisar la sequía, alerta temprana, evaluación de la vulnerabilidad y el riesgo, y mitigación y respuesta del riesgo.

Estas directrices técnicas y el marco DRAMP deberían afianzar un proceso de planificación de gestión de la sequía. La planificación de la sequía brinda a los responsables políticos y a las partes interesadas la oportunidad de identificar comunidades, sectores y regiones vulnerables a la sequía, y diseñar formas para mitigar los impactos antes de que ocurran. La planificación de la sequía es una forma efectiva y económicamente eficiente de asignar recursos para gestionar la sequía. Una planificación de la sequía transparente e inclusiva empodera a las personas, crea conciencia, aumenta la capacidad y la resiliencia entre las comunidades y las naciones ante las crecientes amenazas de degradación de las tierras y desertificación provocadas por el cambio climático y la sequía. El proceso existente de 10 pasos puede dirigir el desarrollo y la implementación de planes de sequía (consulte Crossman (2017) y World Meteorological Organization (WMO) y Global Water Partnership (GWP) (2014)); estas directrices técnicas apoyan en particular el paso 5: redacción de las partes clave del plan de gestión de la sequía.

1.1 Marco de la política de resiliencia, adaptación y gestión de la sequía

El marco DRAMP adopta un enfoque integrado y múltiple para reducir los riesgos e impactos de la sequía. Organizado en torno a seis objetivos transversales (Figura 1), el marco DRAMP identifica acciones pragmáticas para que los países se preparen y respondan mejor a la sequía, y guía el diseño e implementación de políticas de sequía desde el nivel nacional hasta el subnacional. Los seis objetivos del marco DRAMP no son mutuamente excluyentes, y muchas de las acciones para gestionar y adaptarse a la sequía se pueden aplicar a más de un objetivo. Los seis objetivos del marco DRAMP son:

1. Reducir la exposición a la sequía: reducir el potencial de pérdida de personas, medios de vida, servicios y recursos del ecosistema, infraestructura y activos económicos, sociales o culturales en lugares que podrían verse afectados negativamente por la sequía.

Ejemplo: la diversificación del cultivo desde un sistema de monocultivo de granos hace 30 años a una mezcla de cultivos de granos con patatas y maíz tolerantes a la sequía ha reducido el potencial de pérdidas agrícolas debido al aumento de la sequía en Mongolia Interior, China (Lei et al. 2016).

2. Reducir la vulnerabilidad a la sequía: reducir la tendencia o predisposición a verse negativamente afectada por la sequía.

Ejemplo: los agricultores tienen una mayor capacidad de adaptación a la sequía cuando tienen más experiencia, están mejor educados, tienen una tenencia de las tierras más segura, un mejor acceso a la electricidad y son más conscientes de los riesgos climáticos (Alam 2015).

¹ Consulte «Borradores de marcos de políticas de promoción: género, sequía y tormentas de arena y polvo» en https://www.unccd.int/sites/default/files/sessions/documents/2017-08/ICCD_COP%2813%29_19-1711042E.pdf

3. Aumentar la resiliencia ante el riesgo de sequía:

reforzar la capacidad de las comunidades, los ecosistemas y las economías para anticipar, absorber, acomodar o recuperarse de los efectos de la sequía de manera oportuna y eficiente, incluso garantizando la preservación, restauración o mejora del capital natural.

Ejemplo: la adopción de la agricultura de conservación (minimizando la perturbación del suelo, manteniendo el suelo permanente cubierto e introduciendo rotaciones de cultivos) aumenta la biodiversidad del suelo y las reservas de carbono, y regula los ciclos de oxígeno y nutrientes, haciendo que el suelo y los cultivos sean más resistentes a los extremos de calor y secado que se experimentan durante la sequía (Lal 2004, Lipper et al. 2014).

4. Transformación: alterar los atributos fundamentales de los sistemas sociales, económicos y ecológicos (incluidos los sistemas de valores; regímenes normativos, legislativos o burocráticos; instituciones financieras y sistemas tecnológicos o biológicos).

Ejemplo: posicionar a las comunidades locales en el centro de los procesos de toma de decisiones sobre la sequía, el diseño de políticas y la planificación, ya que los impactos sociales de las sequías dependen de la capacidad de las personas para vivir con un suministro de agua reducido, así como de su capacidad de adaptación (Logar y van den Bergh 2013).

Figura 1. Marco de la Política de resiliencia, adaptación y gestión de la sequía (DRAMP)

Los objetivos del marco DRAMP de colores muestran la equiparación con cada uno de los tres pilares clave de la reducción del riesgo de sequía. Estas directrices técnicas describen medidas prácticas para implementar los tres pilares clave.



5. Prepararse, responder y recuperarse de la sequía: el eje de los enfoques de gestión y planificación para reducir los riesgos de sequía, incluido el desarrollo de sistemas integrales de supervisión y alerta temprana.

Ejemplo: diseñar sistemas integrales de supervisión y alerta temprana de la sequía (integrando indicadores socioeconómicos del clima, suelo y agua en varias escalas) (UNISDR 2015, Windhoek Declaration 2016), herramientas de apoyo a la toma de decisiones y productos de evaluación de la sequía en tiempo real (CNULD et al. 2013, Tadesse 2016) que brinden información clave y oportuna para apoyar las decisiones.

6. Transferir y compartir los riesgos de sequía: distribuir los riesgos entre un sector más amplio de la sociedad para incluir a todos aquellos que se benefician directa e indirectamente de una gestión sólida del riesgo de sequía.

Ejemplo: diseñar e implementar estrategias financieras inteligentes que reduzcan el riesgo y que apoyen la ayuda, la reconstrucción y la recuperación de los medios de vida, como microseguros, seguros, reaseguros y grupos de riesgo nacionales, regionales y globales, por ejemplo, seguro por índice meteorológico y redes de seguridad (Shiferaw et al. 2014).

1.2 Los «3 pilares clave» de la reducción del riesgo de sequía

Siguiendo los principios de la reducción del riesgo de desastres (UNISDR 2015), los tres pilares clave de la reducción del riesgo de sequía están diseñados para guiar acciones prácticas para que las naciones implementen sus políticas y planes de gestión de sequía. Estos tres pilares clave son (Tsegai et al. 2015):

1. Implementación de sistemas de supervisión de sequía y alerta temprana:

- Supervisar los indicadores e índices clave de precipitación, temperatura, humedad del suelo, estado de la vegetación, escorrentía, manto de nieve y agua subterránea.
- Desarrollar pronósticos estacionales fiables y herramientas apropiadas de apoyo para la toma de decisiones para los sectores afectados
- Supervisar las consecuencias de la sequía, especialmente los impactos en sectores vulnerables como la agricultura
- Comunicar mensajes de advertencia fiables y responder a los riesgos de manera medida y oportuna

2. Evaluación de la vulnerabilidad y el riesgo de sequía:

- Identificar los impactos de la sequía en los sectores económicos vulnerables, incluidos los sectores de la alimentación y la agricultura (cultivos y ganadería), la biodiversidad y los ecosistemas, la energía, el turismo y la salud
- Evaluar las presiones físicas, sociales, económicas y ambientales sobre las comunidades para identificar quién y qué está en riesgo y por qué: antes, durante y poco después de la sequía
- Evaluar las condiciones o situaciones que aumentan la resistencia o susceptibilidad a la sequía y la capacidad de respuesta de las comunidades afectadas por la sequía
- Evaluar el alcance del daño potencial o las pérdidas en caso de sequía

3. Implementación de medidas para limitar los impactos de la sequía y responder mejor a la sequía:

- Implementar medidas estructurales o físicas, y medidas no estructurales para limitar los efectos adversos de la sequía, priorizadas según el nivel de vulnerabilidad (pilar clave 2)
- La respuesta incluye todos los esfuerzos, como la prestación de asistencia o intervención durante o inmediatamente después de un desastre para satisfacer las necesidades básicas de subsistencia y salvamento de las comunidades y sectores vulnerables y afectados
- Las medidas deben ser relevantes para los sectores afectados por la sequía en función de su vulnerabilidad, en particular la agricultura, el agua y el medioambiente, así como el transporte y el turismo
- Las medidas pueden ser a largo, medio o corto plazo, en función del tiempo de implementación
- Los servicios de biodiversidad, tierras y ecosistema juegan un papel vital en la reducción de la vulnerabilidad y la mitigación de los impactos de la sequía

Estos *tres pilares clave* se desarrollaron durante la serie de talleres regionales de desarrollo de capacidades de políticas de gestión de la sequía del Programa de ONU-Agua para el Desarrollo de la Capacidad en el marco del Decenio (UNW-DPC) que tuvieron lugar en Europa del Este, América Latina y el Caribe, Asia-Pacífico y África en 2013–15. Los tres pilares clave se recomiendan como la base de los planes nacionales de gestión y políticas de la sequía, y proporcionan una forma práctica de organizar múltiples acciones y actividades que las naciones deben implementar para prepararse y responder mejor a la sequía.

1.3 Objetivo de estas directrices técnicas

Estas directrices técnicas revisan y presentan información técnica para implementar los tres pilares clave de los planes de gestión y políticas de reducción del riesgo de sequía. Las directrices también brindan apoyo para el proceso de 10 pasos de planificación e implementación de la gestión de la sequía, especialmente para el paso 5 (World Meteorological Organization (WMO) y Global Water Partnership (GWP) 2014).

El marco DRAMP describe muchas acciones para gestionar y adaptarse a la sequía. Algunas acciones propuestas por DRAMP no se pueden diseñar e implementar a corto plazo o no es posible diseñar enfoques y directrices técnicas para apoyar su implementación. Por ejemplo, algunas de las acciones propuestas bajo el objetivo «Transformación» del marco DRAMP son acciones de alto nivel a largo plazo que desafiaron las normas culturales y políticas establecidas desde hace mucho tiempo, como eliminar incentivos perversos, establecer procedimientos para la coordinación

de todo el gobierno y enfoques estratégicos para la sequía, y reconocer el valor total del agua, las tierras y los ecosistemas.

El presente documento proporciona directrices técnicas sobre cómo implementar estrategias nacionales en materia de sequía basadas en los tres pilares clave de la política y gestión nacional de reducción del riesgo de sequía. El material de las directrices técnicas procede de evaluaciones de los métodos de riesgo y vulnerabilidad y de herramientas de supervisión y pronóstico, que incluyen datos que se utilizan para desencadenar respuestas de gestión de la sequía, como precipitación, flujos de corrientes, aguas freáticas, niveles de reservas y humedad del suelo.

El documento también proporciona un inventario de los indicadores clave utilizados para supervisar y pronosticar el inicio, la duración, el final, la gravedad y los impactos de la sequía. Se ha consultado una gran cantidad de literatura científica y los documentos clave de políticas de sequía (CNULD et al. 2013, Tsegai et al. 2015, UNISDR 2015, Tadesse 2016, Windhoek Declaration 2016) para garantizar que estas directrices técnicas contengan los últimos avances en ciencia y política.





2 IMPLEMENTAR SISTEMAS DE SUPERVISIÓN DE LA SEQUÍA Y ALERTA TEMPRANA

Por lo general, los sistemas de alerta temprana de sequía tienen como objetivo supervisar, evaluar y entregar información relevante sobre las condiciones y tendencias climáticas, hidrológicas y de suministro de agua. En el mejor de los casos, cuentan con un componente de supervisión (incluidos los impactos) y un componente de pronóstico. Su objetivo es proporcionar información oportuna antes o durante el inicio temprano de la sequía para impulsar la acción (a través de desencadenantes de umbral) dentro de un plan de gestión del riesgo de sequía para reducir los posibles impactos. Un enfoque diligente e integrado es esencial para supervisar un peligro de inicio tan lento.

Fuente: World Meteorological Organization and Global Water Partnership (2016)

2.1 Resumen

El capítulo proporciona directrices para seleccionar y calcular indicadores o índices para supervisar y pronosticar el inicio, el final y los impactos de la sequía, e identificar los factores desencadenantes para diferentes respuestas de gestión durante la sequía. La sequía es una amenaza natural que se puede supervisar de forma apropiada, porque la lenta aparición de las sequías permite observar cambios en la precipitación, la temperatura, la humedad del suelo, las reservas de agua superficiales y subterráneas y los comportamientos sociales y económicos. Detectar estos cambios de forma temprana es importante para activar acciones efectivas y eficientes con el fin de prepararse para la sequía y mitigar sus impactos. Es importante que los indicadores y los índices describan con precisión los impactos de la sequía. Los indicadores evaluados en este informe ya han pasado, hasta cierto nivel, la prueba de efectividad y precisión, porque se utilizan comúnmente en regiones propensas a la sequía en todo el mundo.

2.2 Definiciones

Es importante dejar clara la diferencia entre **indicadores** e **índices**.

Los indicadores son variables meteorológicas, hidrológicas o biofísicas (como precipitación, temperatura, flujo de corriente, niveles de almacenamiento de aguas y aguas freáticas, y humedad del suelo) que describen las condiciones de sequía (World Meteorological Organization and Global Water Partnership 2016).

Un índice es una representación numérica calculada de la gravedad de la sequía, a menudo calculada utilizando combinaciones de indicadores meteorológicos, hidrológicos o biofísicos (World Meteorological Organization and Global Water Partnership 2016). Los índices proporcionan información cuantitativa sobre la gravedad, el plazo, la duración y el alcance de una sequía. La gravedad es una desviación de la norma, y los umbrales de gravedad de la sequía identifican su inicio, final y ubicación. El momento del comienzo y el final de una sequía también es muy importante porque los impactos de la sequía pueden ser muy variables en función de cuándo se produzca la escasez de humedad en relación con otros factores. Por ejemplo, una sequía corta puede tener un gran impacto si ocurre durante una fase clave del ciclo de crecimiento del cultivo, o una sequía larga puede tener un impacto menor si ocurre durante la etapa de barbecho. Los índices de sequía calculados usando datos históricos se pueden usar para estimar la probabilidad futura de ocurrencia y la gravedad de la sequía.

2.3 Selección de indicadores y desencadenantes de sequía

Los indicadores e índices de sequía son una herramienta esencial para que los responsables políticos y el público en general detecten la sequía, evalúen sus impactos y luego tomen medidas para reducir los riesgos (Steinmann et al. 2015). Los indicadores e índices de sequía vinculan los datos con la toma de decisiones y pueden utilizarse para responder a las siguientes preguntas:

- ¿Cómo sabemos que la situación actual se puede clasificar como sequía?
- ¿Cómo de grave es la sequía?
- ¿Cuándo deberíamos actuar?
- ¿Cómo sabemos que la sequía ha terminado?

Los desencadenantes son valores específicos de indicadores que determinan el momento y el alcance de las acciones que responden a las condiciones de sequía (Steinmann y Cavalcanti 2006). La caracterización de la sequía generalmente usará los términos «sequía leve, moderada, grave, extrema» o «sequía de nivel 1, nivel 2, nivel 3», en base a un único indicador o a una combinación de los mismos. La organización Famine Early Warning Systems Network (FEWS-NET, Red de Sistemas de Alerta Temprana de Hambruna) utiliza un enfoque más matizado, que se centra directamente

en los impactos de periodos secos prolongados (Figura 2). Existen distintos desencadenantes de respuesta en cada categoría de ocurrencia e impacto de sequía.

La elección y la combinación de variables utilizadas para desarrollar indicadores de sequía e identificar desencadenantes se debe llevar a cabo de manera transparente y científicamente sólida para garantizar la validez de los planes de gestión de sequía. Existen varios estudios que evalúan la utilidad de los indicadores de sequía para ayudar a seleccionar los mejores tipos y combinaciones de indicadores y factores desencadenantes (Byun y Wilhite 1999, Heim 2002, Keyantash and Dracup 2002, Zargar et al. 2011, Dogan et al. 2012, Jain et al. 2015, Fluixá-Sanmartín et al. 2018). El trabajo de Steinmann et al. en los últimos 15 años ha tenido como objetivo comprender mejor las necesidades de los usuarios finales de los indicadores e índices de sequía para ayudar a diseñar un proceso robusto para seleccionar los indicadores e índices adecuados (Steinmann y Cavalcanti 2006, Steinmann et al. 2015). Un resultado valioso de su trabajo es un proceso de 12 pasos para la sección de indicadores y factores desencadenantes de sequía aplicada al desarrollo de un plan de gestión de sequía para el Estado de Georgia, EE. UU. El Recuadro 1 enumera los 12 pasos y los explica brevemente. Se anima a las autoridades nacionales y subnacionales que desarrollan sistemas de supervisión y alerta temprana de la sequía como parte de la gestión de sequía a seguir el proceso de 12 pasos del Recuadro 1.

Figura 2. Versión 2.0 de la Clasificación Integrada de las Fases (basada en el área) utilizada para clasificar la hambruna por la Red de Sistemas de Alerta Temprana de Hambruna

Nombre y descripción de la fase	Fase 1 Mínima	Fase 2 En dificultades	Fase 3 Crisis	Fase 4 Emergencia	Fase 5 Hambruna
	Más de cuatro de cada cinco hogares pueden satisfacer las necesidades alimentarias y no alimentarias esenciales sin hacer uso de estrategias atípicas e insostenibles para acceder a los alimentos y los ingresos, incluida cualquier dependencia de la asistencia humanitaria.	Incluso con asistencia humanitaria, al menos uno de cada cinco hogares en el área está en la siguiente situación o peor: Consumo de alimentos mínimamente adecuado, pero no pueden permitirse algunos gastos no alimentarios esenciales sin hacer uso de estrategias irreversibles para hacer frente a la situación.	Incluso con asistencia humanitaria, al menos uno de cada cinco hogares en el área está en la siguiente situación o peor: Carencias en el consumo de alimentos con una malnutrición aguda elevada o superior a la habitual. O Son capaces de satisfacer de forma marginal las necesidades mínimas de alimentos solo con el agotamiento acelerado de los medios de subsistencia, lo que provocará carencias en el consumo de alimentos.	Incluso con asistencia humanitaria, al menos uno de cada cinco hogares en el área está en la siguiente situación o peor: Grandes carencias en el consumo de alimentos, lo que resulta en malnutrición muy aguda y en exceso de mortalidad. O Pérdida extrema de los medios de subsistencia, lo que provocará carencias en el consumo de alimentos a corto plazo.	Incluso con asistencia humanitaria, al menos uno de cada cinco hogares en el área sufre de una falta extrema de alimentos y otras necesidades básicas y donde la inanición, la muerte y la indigencia son evidentes. (Se necesitan pruebas de los tres criterios de consumo de alimentos, pérdida de masa corporal y TMC para clasificar la hambruna).
Objetivos de respuesta prioritaria	Acción necesaria para aumentar la resiliencia y reducir el riesgo de desastres	Acción necesaria para aumentar la resiliencia y reducir el riesgo de desastres	Acción urgente necesaria para: 		
			Proteger los medios de subsistencia, reducir las carencias en el consumo de alimentos y reducir la desnutrición aguda	Salvar vidas y medios de subsistencia	Prevenir la mortalidad generalizada y el colapso total de los medios de subsistencia

Fuente: <http://www.fews.net/IPC>

Otro trabajo de Steinemann et al. enumera un conjunto de atributos considerados deseables para los indicadores basados en una serie de talleres de expertos de las partes interesadas:

- Términos estadísticamente consistentes y comparables, por ejemplo, medidos en percentiles
- Condiciones de sequía relativas e históricas para poner en perspectiva la gravedad actual de la sequía
- Individuales y separados, en lugar de preagregados en un índice, pero que se puedan combinar con ponderaciones definidas por el usuario
- Fáciles de entender e implementar, y relacionados con conceptos familiares
- Capaces de representar una amplia gama de condiciones, por ejemplo, meteorológicas e hidrológicas
- Relevantes en diferentes escalas temporales y espaciales

Varios investigadores han evaluado la usabilidad y relevancia de los indicadores e índices de sequía para ayudar a condensar más de 100 medidas potencialmente útiles (Zargar et al. 2011) en una lista gestionable de la que se pueden seleccionar acciones apropiadas para la ubicación. Los trabajos recientes de la Organización Meteorológica Mundial y la Asociación Mundial para el Agua (2016) revisaron los indicadores de meteorología, hidrología, humedad del suelo

y detección remota, así como los índices compuestos más utilizados para supervisar la sequía. Utilizaron un enfoque de semáforo para calificar 50 indicadores e índices para facilitar su uso en base a un conjunto de criterios. Los criterios evaluaron la disponibilidad del código para crear el indicador, la escala temporal de los datos de entrada, el tratamiento de los datos que faltaban, el número y la forma de las variables de entrada necesarias, la complejidad de los cálculos para calcular el indicador, el nivel de ambigüedad del indicador y la disponibilidad de la salida del indicador (por ejemplo, el indicador ya se ha producido y está disponible en línea).

La Tabla 1 enumera los indicadores calificados como verdes por el World Meteorological Organization and Global Water Partnership (2016), lo que significa que se pueden obtener y usar de forma relativamente sencilla. Sin embargo, los autores advierten que una calificación verde no significa necesariamente que un indicador sea el más adecuado para una ubicación en particular. El indicador más apropiado debe estar determinado por las necesidades de los usuarios y la aplicación. Dado que no había indicadores de humedad del suelo o hidrología calificados como verdes, se ha incluido un pequeño número de indicadores clasificados como naranjas populares en la literatura científica en materia de sequía.

Recuadro 1: El proceso de 12 pasos para seleccionar indicadores de sequía y factores desencadenantes de respuesta.

Steinemann and Cavalcanti (2006) proponen este método de 12 pasos para diseñar y aplicar indicadores y factores desencadenantes de sequía para la supervisión y la alerta temprana de la sequía como parte de la planificación de la gestión de sequía. Los pasos se desarrollaron a lo largo de un periodo de cuatro años e involucraron a más de 100 partes interesadas en todo el Estado de Georgia, EE. UU. Aunque se desarrolló en los EE. UU., los pasos se pueden aplicar en cualquier ubicación a nivel global.

Desarrollo de indicadores y factores desencadenantes:

- 1. Definir la escala y el alcance del análisis:** seleccionar las unidades espaciales y la extensión de los indicadores. Existen varias opciones, como divisiones climáticas, cuencas fluviales, jurisdicciones políticas o áreas críticas de uso del agua. El alcance podría ser a nivel nacional o en partes del país más vulnerables a la sequía, como las áreas agrícolas de secano.
- 2. Desarrollar indicadores de sequía:** utilizar el conocimiento de los expertos para seleccionar indicadores clave a partir de una extensa lista de indicadores. Los criterios para seleccionar los indicadores deben incluir si el indicador representa bien los impactos críticos de la sequía, las vulnerabilidades primarias de la sequía, los suministros y demandas de agua, y los tipos de sequía que afectan el área. También es importante para el indicador la disponibilidad, el registro histórico y la validez de los datos. Se pueden seleccionar diferentes indicadores para representar diferentes tipos de condiciones de sequía en diferentes lugares, como los niveles de agua freática en lugares donde la agricultura depende de ella, o los niveles de reservas en áreas urbanizadas. La Tabla 1 resume los indicadores más habituales y fáciles de usar.
- 3. Establecer niveles de planificación de sequía y la escala desencadenante:** identificar un enfoque coherente, intuitivo y fácil de implementar para asociar los factores desencadenantes con los niveles de sequía, y para comparar y combinar múltiples indicadores y factores desencadenantes. Un enfoque sencillo son los percentiles y umbrales cumulativos de probabilidad, como 0,35, 0,20, 0,10 y 0,05, que representan sequías leves, moderadas, graves y extremas, respectivamente.
- 4. Desarrollar un objetivo desencadenante:** desarrollar un conjunto de medidas de rendimiento para indicadores y factores desencadenantes que describan el comportamiento deseado de los indicadores y sus factores desencadenantes asociados. Por ejemplo, establecer reglas sobre la advertencia anticipada del indicador de inicio, progresión y fin de la sequía, falsas alarmas y tiempo para implementar las respuestas de gestión.

Análisis de indicadores y factores desencadenantes:

- 5. Transformar los indicadores en escalas y niveles desencadenantes:** desarrollar un sistema desencadenante que brinde un marco estadísticamente consistente para combinar, comparar y evaluar múltiples indicadores.
- 6. Calcular indicadores en múltiples periodos:** convertir los indicadores basados en periodos únicos en indicadores para periodos múltiples y secuenciales. Los indicadores de múltiples periodos son importantes para cumplir los objetivos de rendimiento (paso 4) porque proporcionan factores desencadenantes de la sequía más estables, minimizan las posibles falsas alarmas y reducen el riesgo de perder una señal de sequía retrasada o persistente.

Recuadro 1: El proceso de 12 pasos para seleccionar indicadores de sequía y factores desencadenantes de respuesta (continuación).

7. Calcular secuencias desencadenantes individuales y múltiples: la secuencia desencadenante es el nivel de sequía asociado con cada indicador (en un periodo único o múltiples periodos) para cada mes en el registro de datos históricos.

8. Calcular secuencias de sequía finales: desarrollar un enfoque sistemático y científicamente justificable para combinar múltiples secuencias desencadenantes en una única secuencia de sequía sobre la cual tomar decisiones. Por ejemplo, las secuencias desencadenantes podrían combinarse de tres maneras:

- Niveles de sequía más graves
- Mayoría de los niveles de sequía
- Inicio de sequía y fin de sequía

Evaluación de indicadores y desencadenantes:

9. Obtener evaluaciones de expertos: determinar qué indicadores y factores desencadenantes son los más apropiados en función del rendimiento de las secuencias comparado con las sequías históricas. Los expertos podrían ser tanto especialistas nacionales como administradores locales de medioambiente, agricultura y servicio urbano de agua, junto con representantes de la comunidad local. Algunas preguntas relevantes podrían ser:

- ¿Qué indicadores, factores desencadenantes y combinaciones de los mismos habrían producido una secuencia desencadenante del nivel de sequía que reflejase mejor las condiciones de sequía en cada ubicación?
- ¿Qué nivel de sequía debe declararse y cuándo, en función de la información disponible?
- ¿Qué estado de nivel de sequía (para cada mes y ubicación) habría producido la mejor respuesta general de gestión y mitigación del impacto?

10. Comparar las secuencias de sequía finales con evaluaciones de expertos: comparar las evaluaciones de expertos de los impactos, indicadores y factores desencadenantes retrospectivos de la sequía (paso 9) con las secuencias de sequía finales (paso 8) para identificar los indicadores y factores desencadenantes más prometedores para cada ubicación o región.

11. Perfeccionar las secuencias de sequía finales y reafirmar el proceso de evaluación: usar un proceso iterativo para llegar a las secuencias de sequía y a los factores desencadenantes del indicador finales. Puede implicar tener que volver al paso 1 para desarrollar nuevos indicadores/factores desencadenantes o, en la mayoría de los casos, volver al paso 5 para perfeccionar los factores desencadenantes.

12. Seleccionar los indicadores y factores desencadenantes finales para el plan de sequía.

Tabla 1. Resumen de los principales indicadores e índices de sequía

Indicador	Calificación	Entradas	Fuente o ejemplo	Notas
Meteorología				
Índice de anomalía de aridez (AAI)		P, T, PET, ET	Gommes et al. (2010)	Operacionalmente disponible para la India; aplicable a la agricultura en climas tropicales.
Deciles		P	Gibbs y Maher (1967)	Fácil de calcular; los ejemplos de Australia son útiles.
Índice de sequía de Keetch-Byram (KBDI)		P, T	Keetch y Byram (1968) http://www.wfas.net/index.php/keetch-byram-index-moisture--drought-49	Los cálculos se basan en el clima del área de interés; actualmente disponible para EE. UU.
Porcentaje de precipitación normal		P	Hayes (2005)	Cálculos matemáticos simples.
Índice estandarizado de precipitación (SPI)		P	Guttman (1999); World Meteorological Organization (2012) http://drought.unl.edu/monitoringtools/~downloadablesprogram.aspx	Destacado por la OMM como punto de partida para la supervisión meteorológica de la sequía. Recomendado por la OMM en 2009 como indicador principal para supervisar la sequía (Hayes et al. 2010). Fácil de calcular y aplicable en todos los climas. Software gratuito disponible para los cálculos.

Indicador	Calificación	Entradas	Fuente o ejemplo	Notas
Meteorología (continuación)				
Precipitación estandarizada de anomalías ponderadas (WASP)		P, T	Lyon (2004) http://iridl.ldeo.columbia.edu/maproom/Global/~Precipitation/WASP_Indices.html	Utiliza datos de cuadrículas para supervisar la sequía en las regiones tropicales.
Índice de Humedad de Cultivos (CMI)		P, T	Palmer (1968)	Expansión del PDSI específicamente para la agricultura; se requieren valores semanales.
Índice de sequía efectiva (EDI)		P	Byun y Wilhite (1999) https://www.ru.ac.za/iwr/research/spatsim/	Se puede calcular utilizando el software SPATSIM, disponible de forma gratuita.
Índice de gravedad de sequía de Palmer (PDSI)		P, T, CRA	Alley (1984)	No es verde debido a la complejidad de los cálculos y la necesidad de datos completos en serie. Principalmente reemplazado por nuevos índices como el SPI.
Índice estandarizado de evapotranspiración de precipitación (SPEI)		P, T	Vicente-Serrano et al. (2009) http://spei.csic.es	Se requieren datos completos en serie; resultados similares al SPI pero con un componente de temperatura. El código para realizar los cálculos está disponible de forma gratuita.
Humedad del suelo				
Anomalía de la humedad del suelo (SMA)		P, T, CRA	N.A.	Destinado a mejorar el balance hídrico del PDSI. Los requisitos de datos hacen que sea difícil calcularlo.
Hidrología				
Índice hidrológico de gravedad de sequía de Palmer (PHDI)		P, T, CRA	Jacobi et al. (2013)	Se requieren datos en serie completos. Estima el balance hídrico completo, pero no incluye las decisiones de gestión del agua y el riego.
Índice de escorrentía estandarizado (SSFI)		ESC	Modarres (2007); Telesca et al. (2012)	Utiliza el programa SPI junto con los datos de flujo.
Índice de sequía de escorrentía (SDI)		ESC	Nalbantis y Tsakiris (2009) http://drinc.ewra.net	Cálculos similares al SPI, pero utilizando datos de escorrentía en lugar de precipitación. Ampliamente disponible y fácil de usar, pero no tiene en cuenta intervenciones de gestión de flujo.
Detección remota/agricultura				
Índice de vegetación mejorado (EVI)		Sat	Huete et al. (2002) https://www.star.nesdis.noaa.gov/smcd/emb/~vci/VH/vh_browse.php	No separa el estrés por sequía de otros tipos de estrés. Alta resolución y cobertura global completa.
Índice de estrés evaporativo (ESI)		Sat, PET	Anderson et al. (2010) https://hrsl.ba.ars.usda.gov/drought/	No tiene una larga historia como producto operativo. Cobertura únicamente en los EE. UU.
Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI)		Sat	Huete et al. (2002) https://www.star.nesdis.noaa.gov/smcd/emb/~vci/VH/vh_browse.php	Se calcula para la mayoría de las ubicaciones.

Indicador	Calificación	Entradas	Fuente o ejemplo	Notas
Detección remota/agricultura (continuación)				
Índice de condición de temperatura (TCI)		Sat	Kogan (1995)	Generalmente se encuentra junto con los cálculos del NDVI.
Índice de condición de vegetación (VCI)		Sat	Liu y Kogan (1996)	Generalmente se encuentra junto con los cálculos del NDVI.
Índice de respuesta a la sequía de la vegetación (VegDRI)		Sat, P, T, CRA, CC, ER	Brown et al. (2008)	Tiene en cuenta muchas variables para separar el estrés por sequía de otros tipos de estrés en la vegetación. Se puede aplicar en la temporada de crecimiento de la vegetación.
Índice de salud de la vegetación (VHI)		Sat	Kogan (2001) https://www.star.nesdis.noaa.gov/smcd/emb/~vci/VH/vh_browse.php	Uno de los primeros intentos de supervisar la sequía utilizando datos de detección remota. Alta resolución y cobertura global.
Índice de satisfacción de las necesidades hídricas (WRSI y WRSI geoespacial)		Sat, Mod, CC	Verdin y Klaver (2002) http://chg.geog.ucsb.edu/tools/geowrsi/index.html	Operativo para muchas ubicaciones. Desarrollado por la FAO para detectar la hambruna. Proporciona una alternativa sólida a las observaciones sobre el terreno.
Índice diferencial del agua normalizado (NDWI) e índice de agua superficial terrestre (LSWI)		Sat	Chandrasekar et al. (2010) http://www.eomf.ou.edu/modis/visualization/	Producido operativamente utilizando datos de espectrorradiómetro de imágenes de media resolución
Compuesto o modelado				
Indicador de sequía combinado (CDI)		Mod, P, Sat	Sepulcre-Canto et al. (2012) http://edo.jrc.ec.europa.eu/edov2/php/index.php?id=1000	Utiliza tanto datos de superficie (SPI, humedad del suelo) como de detección remota. Solo disponible para Europa.
Sistema global integrado de predicción y supervisión de sequías (GIDMaPS)		Múltiple, Mod	Hao et al. (2014) http://drought.eng.uci.edu	Un producto operativo con salida global para tres índices de sequía: Índice de Humedad del Suelo Estandarizado, SPI y MSDI.
Sistema global de asimilación de datos de las tierras (GLDAS)		Múltiple, Mod, Sat	Rodell et al. (2004) https://disc.sci.gsfc.nasa.gov/services/grads-gds/gldas	Útil en regiones pobres en datos debido a su extensión global. Se puede usar para la supervisión en tiempo real de sequías con múltiples impactos.
Índice estandarizado multivariado de sequía (MSDI)		Múltiple, Mod	Hao y AghaKouchak (2013)	Disponible, pero se necesita interpretación.
Monitor de sequía de los Estados Unidos (USDM)		Múltiple	Svoboda et al. (2002)	Disponible, pero se necesita interpretación.

P = precipitación; T = temperatura; PET = potencial de evapotranspiración; ET = evapotranspiración; CRA = capacidad de retención de agua disponible; ESC = escorrentía; Sat = datos satelitales; CT = cubierta terrestre; ER = ecoregión; Mod = modelado; CC = coeficiente de cultivo.

Fuente: Modificado de World Meteorological Organization y Asociación Mundial para el Agua (2016)

2.4 ¿Cuáles son los «mejores» indicadores para supervisar y pronosticar la sequía?

La selección de indicadores o índices específicos para supervisar la ocurrencia y los impactos de las sequías, y pronosticar cuándo ocurrirá no se puede prescribir en estas directrices técnicas. La elección de los indicadores vendrá determinada por circunstancias regionales o nacionales específicas, como la disponibilidad de datos espaciotemporales, la capacidad técnica y los matices de las condiciones climáticas, sociales, económicas y ambientales. Seleccionar indicadores es un proceso de prueba y error, y probar su idoneidad puede llevar mucho tiempo, dadas las características únicas de la ubicación (consulte el Recuadro 1) (World Meteorological Organization and Global Water Partnership 2016). Es de vital importancia alinear los sistemas de supervisión y alerta temprana de la sequía, así como la planificación de las políticas y la gestión y la toma de decisiones, con valores cuantitativos basados en índices que identifiquen de manera sólida la gravedad, el inicio y la duración de la sequía. Dogan et al. (2012) han demostrado que tener en cuenta más de un índice de sequía puede proporcionar ciertas ventajas, dado que comparar y combinar varios índices puede ayudar a:

- Caracterizar mejor las sequías
- Analizar la sensibilidad y precisión de los indicadores de sequía
- Investigar la correlación entre indicadores
- Explorar cómo de coherentes son los indicadores de sequía en el contexto de un objetivo específico

Invertir en la investigación de los indicadores e índices más adecuados para una ubicación no se puede evitar.

Algunos indicadores enumerados en la Tabla 1 destacan como opciones preferidas en función de su facilidad de uso y nivel de absorción por los sistemas existentes de supervisión y alerta temprana de sequía. Aunque se afirma que la integración de la precipitación con otras variables relacionadas con la sequía, como la humedad del suelo y la escorrentía, es esencial para unos sistemas eficientes de supervisión y detección temprana de sequía (AghaKouchak 2015), como punto de partida se pueden recomendar indicadores basados en precipitaciones, dado que la sequía es esencialmente una falta extraordinaria de agua en comparación con lo habitual (Carrão et al. 2016, Van Loon et al. 2016), y un déficit prolongado de precipitaciones conlleva desastres agrícolas, hidrológicos o socioeconómicos. Por lo tanto, los indicadores e índices de sequía meteorológica se pueden utilizar como indicadores de la sequía agrícola e hidrológica (Vicente-Serrano et al. 2012).

2.4.1 Sequía meteorológica

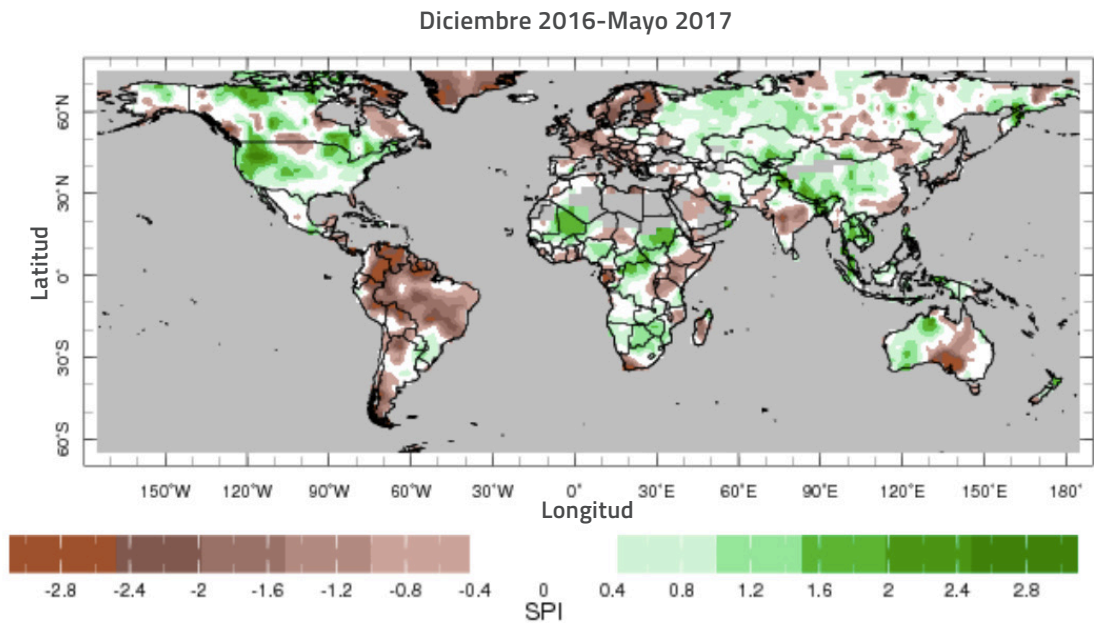
La sequía meteorológica es un déficit de precipitación, posiblemente combinado con un aumento de la evapotranspiración potencial, que se extiende sobre un área grande y abarca un periodo extenso (Van Loon 2015). El **índice de precipitación estandarizada (SPI)** se usa a menudo para supervisar la sequía meteorológica porque resume de manera eficiente las anomalías temporales en la precipitación. En una encuesta reciente (2010-2014) de agencias nacionales de servicios meteorológicos e hidrológicos, 35 países de los 43 que respondieron dijeron que usan el SPI para supervisar la sequía (World Meteorological Organization and Global Water Partnership 2016). Bachmair et al. (2016) también descubrieron que el SPI y otros índices sencillos basados en las precipitaciones se usan con mayor frecuencia en los sistemas operativos de supervisión y alerta temprana de sequía. La OMM, basada en una consulta y un seminario de expertos en el que participaron 54 participantes de 22 países, recomienda que todos los países usen el SPI para supervisar la sequía meteorológica, porque es relativamente fácil de usar y solo es necesario introducir datos de precipitación ampliamente disponibles (World Meteorological Organization 2012).

El SPI cuantifica los déficits de precipitación para diferentes escalas temporales (1, 3, 6, 12, 24 y 48 meses) y está normalizado, por lo que se puede aplicar tanto a climas húmedos como a climas secos. La Figura 3 muestra un ejemplo de SPI global calculado para el periodo de 6 meses de diciembre de 2016 a mayo de 2017. El SPI se puede utilizar para evaluar la rareza de una sequía actual y la precipitación necesaria para acabar con ella. Las categorías de sequía del SPI de la Tabla 2 se pueden utilizar como desencadenantes para implementar varios niveles de acciones de planificación y gestión. La sequía comienza cuando el valor del SPI es igual o inferior a -1,0 y termina cuando el valor del SPI vuelve a ser positivo (World Meteorological Organization 2012). Se requieren al menos datos de 30 años de precipitación mensual continua, preferentemente periodos más largos. Las medidas de precipitación, las desviaciones estándar, la asimetría, las funciones gamma y las probabilidades cumulativas deben calcularse como entrada en el SPI final, por lo que se recomienda un programa informático gratuito para calcular el SPI² en un ordenador Windows.

El SPI también se puede utilizar como un índice pionero para supervisar la sequía agrícola, hidrológica y socioeconómicas. Por ejemplo, en China, una sequía clasificada con el SPI de 1 a 3 meses de duración desencadena una sequía agrícola, mientras que una sequía clasificada con el SPI de 6 a 12 meses de duración puede desencadenar una sequía hidrológica, y una sequía clasificada con el SPI de 12 meses o más desencadena una sequía socioeconómica a nivel local.

² <http://drought.unl.edu/MonitoringTools/DownloadableSPIProgram.aspx>

Figura 3. El SPI global de 6 meses de diciembre de 2016 a mayo de 2017. Los valores del SPI pueden compararse con una comparación de la desviación estándar de la precipitación de una ubicación a otra. La Tabla 2 explica los valores de la categoría SPI



Fuente: <http://iridl.ldeo.columbia.edu/maproom/Global/Precipitation/SPI>

Tabla 2. Probabilidad de recurrencia del evento de sequía descrito por el SPI

SPI	Categoría	Número de veces en 100 años	Gravedad del evento
De 0 a -0,99	Sequía leve	33	1 vez cada 3 años
-1,0 a -1,49	Sequía moderada	10	1 vez cada 10 años
-1,5 a -1,99	Sequía grave	5	1 vez cada 20 años
-2,0 o menos	Sequía extrema	2.5	1 vez cada 50 años

Fuente: Organización Meteorológica Mundial (2012).

El principal defecto del SPI es la dependencia de un solo parámetro: la precipitación. Si bien la precipitación es la principal variable que determina el inicio, la duración, la intensidad y el final de la sequía (Heim 2002, Carrão et al. 2016), la temperatura se vuelve cada vez más importante a la hora de supervisar la sequía porque los modelos de cambio climático predicen que el aumento de la temperatura afecta la gravedad de la sequía (Sheffield y Wood 2008). Vicente-Serrano et al. (2009) han desarrollado un SPI ampliado para incluir datos de temperatura con el fin de describir la evapotranspiración potencial. El **índice estandarizado de evapotranspiración de precipitación (SPEI)** se puede calcular utilizando el código R gratuito, pero se requiere cierta experiencia técnica.³ Las pruebas han demostrado que el SPEI

funciona mejor que el SPI a la hora de capturar los impactos en la escorrentía, la humedad del suelo, el crecimiento forestal y el rendimiento de los cultivos durante las sequías de verano (Vicente-Serrano et al. 2012).

El **índice de sequía efectiva (EDI)** es un índice alternativo y potencialmente superior porque es más sensible que el SPI a periodos de sequía más cortos y a detectar el inicio y el final de una sequía (Jain et al. 2015). El EDI se puede utilizar para evaluar la gravedad de la sequía con la precipitación diaria como principal aporte. Se descubrió que el EDI es coherente con otros índices de sequía para varios pasos de tiempo y se prefiere a la hora de supervisar sequías a largo plazo en regiones áridas/semiáridas (Dogan et al. 2012)

³ Código informático disponible en <http://spei.csic.es>

2.4.2 Sequía hidrológica

La sequía hidrológica es la falta de agua en el sistema hidrológico, que se manifiesta en un flujo de corriente anormalmente bajo en ríos y niveles anormalmente bajos en lagos, embalses y aguas subterráneas (Van Loon 2015). Si hay datos de escorrentía disponibles, el **índice de sequía de escorrentía (SDI)** y el **índice de escorrentía estandarizado (SSFI)** son relativamente sencillos para calcular los índices de escorrentía. Son importantes cuando el flujo, el almacenamiento y las desviaciones de agua se convierten en componentes críticos para la producción agrícola, el suministro de agua industrial y urbana y la ecología del agua dulce. Van Loon y Laaha (2015) han medido la gravedad de la sequía hidrológica utilizando curvas y percentiles de duración del caudal, con la conclusión de que la variación espacial de la gravedad de la sequía hidrológica depende de los procesos hidrológicos terrestres. Una evaluación sólida de la sequía hidrológica depende no solo de los datos de escorrentía, sino también de modelos hidrodinámicamente correctos de sistemas terrestres, que requieren un alto nivel de experiencia técnica para analizarlos y pueden no estar ampliamente disponibles.

2.4.3 Sequía agrícola

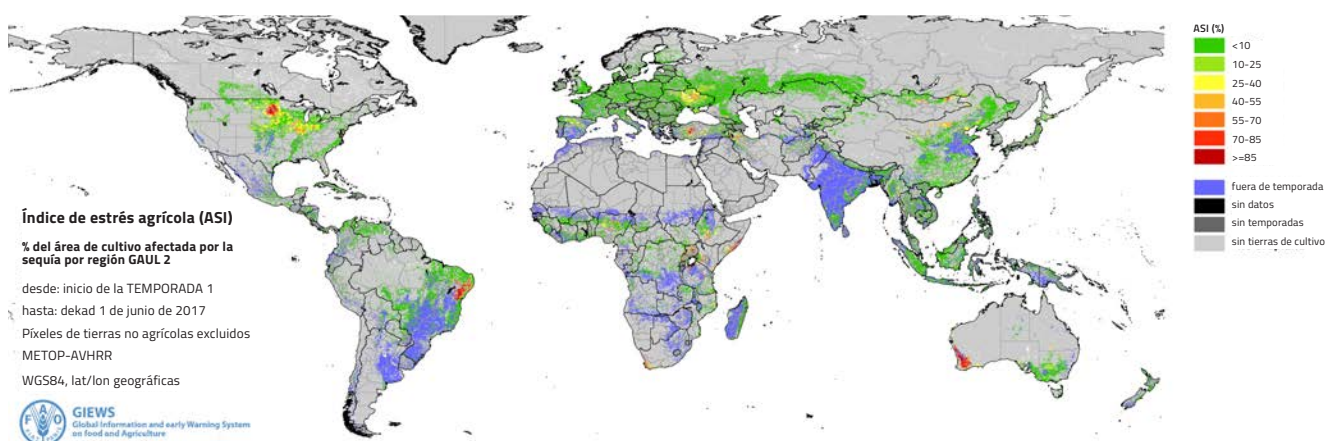
La sequía agrícola es un déficit de humedad del suelo (principalmente en la zona de raíces) que reduce el suministro de humedad a la vegetación y, a menudo, provoca la pérdida de cultivos (Van Loon 2015). El **índice salud de la vegetación (VHI)** y el **índice de satisfacción de las necesidades hídricas (WRSI)** utilizan imágenes de detección remota ampliamente disponibles y de alta resolución temporal y espacial, y son medidas sólidas del estrés de los cultivos inducido por la sequía. El VHI combina la medición del estrés por humedad de la

vegetación (NDVI) y el estrés por temperatura (BT) en diferentes etapas de la fenología de las plantas durante la temporada de crecimiento. El WRSI combina datos de precipitación y evapotranspiración potencial detectados de forma remota con la capacidad de retención de agua del suelo y los coeficientes de los cultivos para ofrecer estimaciones de alerta temprana de los rendimientos de los cultivos y posibles pérdidas. El WRSI es el porcentaje de las necesidades hídricas de cultivos totales satisfechas por las precipitaciones o la humedad del suelo disponible. La FAO ha desarrollado una implementación espacial del WRSI para estimar los rendimientos de los cultivos en tiempo real y los riesgos de hambruna. La FAO también ha desarrollado interpretaciones de series temporales de alta resolución espacial y temporal del VHI para calcular el **índice de estrés agrícola (ASI)** en las tierras de cultivo del mundo. El ASI es una parte clave del Sistema mundial de información y alerta (SMIA) de la FAO, que se utiliza para supervisar las amenazas en tiempo real a la seguridad alimentaria global.⁴ El ASI para el 1 de junio de 2017 se muestra en la Figura 4.

Los indicadores de estrés vegetativo basados en el NDVI detectados de forma remota son métodos muy útiles y prácticos para identificar los primeros impactos de la sequía en la agricultura, pero pueden ampliarse para supervisar los impactos en los ecosistemas y bosques naturales. Las áreas de alto estrés vegetativo en los bosques y ecosistemas nativos indican lugares donde la biodiversidad podría estar bajo una presión considerable por la sequía.

En ausencia de la capacidad técnica de teledetección, los investigadores han demostrado que el SPEI se correlaciona bien con la humedad del suelo en varios lugares del mundo (Vicente-Serrano et al. 2012, Scaini et al. 2015, Wang et al. 2015), lo que sugiere que el SPEI se puede utilizar como un sustituto válido para los indicadores de sequía agrícola.

Figura 4. Índice de estrés agrícola de la FAO para el 1 de junio de 2017



Fuente: <http://www.fao.org/gIEWS/es/>

⁴ <http://www.fao.org/gIEWS/es/>

2.4.4 Sequía socioeconómica

La sequía socioeconómica ocurre cuando la demanda de bienes económicos excede la oferta debido a una escasez de agua relacionadas con el clima (Wilhite y Glantz 1985). Los indicadores e índices para la supervisión y alerta temprana de las sequías socioeconómicas son relativamente poco comunes. El **índice de confiabilidad y resiliencia estandarizado multivariado (MSRRI)**, desarrollado por (Mehran et al. 2015), integra dos indicadores, el indicador de fiabilidad de demanda de entrada (IDRI) y el indicador de resiliencia de almacenamiento de agua (WSRI). El IDRI evalúa si el agua disponible (que entra al sistema) es suficiente para satisfacer la demanda de agua durante el periodo seleccionado, independientemente del almacenamiento en las reservas. El WSRI evalúa la suficiencia de una reserva para satisfacer la demanda de agua durante el periodo de tiempo seleccionado. Por lo tanto, el MSRRI evalúa el suministro y almacenamiento de agua en relación con la demanda, y cualquier valor negativo indica una escasez de agua. Se requieren datos sobre la demanda del agua, la capacidad y los niveles de almacenamiento de agua y las entradas de agua, lo que hace que el MSRRI y sus componentes sean relativamente complejos de calcular y dependan de datos detallados.

2.4.5 Compuesto

Los recientes avances generacionales en el procesamiento de datos espaciales y teledetección facilitan relativamente el acceso a varios indicadores compuestos para la supervisión y la alerta temprana de la sequía. El sistema más avanzado es el **monitor de sequía de los Estados Unidos (USDM)** (Svoboda et al. 2002). EL USDM combina seis indicadores de sequía (PDSI, humedad del suelo, escorrentía diaria, deciles

de precipitación, SPI y VHI) que describen los principales tipos de sequía (meteorológica, agrícola e hidrológica). El USDM utiliza promedios ponderados de las entradas para producir una evaluación semanal de las condiciones actuales de sequía en los Estados Unidos. El USDM del 29 de noviembre de 2016 y del 14 de febrero de 2017 se comparan en la Figura 5, en los que se observa un cambio sustancial en las condiciones de sequía en California y el sureste tras las fuertes lluvias de invierno de 2016-2017. Las categorías de sequía utilizadas por el USDM (Tabla 3) son posibles factores desencadenantes para los distintos niveles de planificación y respuesta de gestión de la sequía. Los umbrales de cada indicador son útiles para identificar desencadenantes de cada indicador del USDM. Los sistemas de supervisión de sequía que utilizan indicadores individuales o un subconjunto de indicadores utilizados por el USDM pueden referirse a los rangos de valores de los indicadores y las categorías de sequía asociadas en la Tabla 3 para definir posibles desencadenantes.

Una nueva plataforma desarrollada en Princeton, EE. UU. produce varios índices de sequía individuales y compuestos para supervisar y pronosticar la sequía en el África subsahariana (Sheffield et al. 2013). El **Monitor de Inundaciones y Sequías para África (ADFM)** utiliza numerosos conjuntos de datos de detección remota y datos de escorrentía para calcular indicadores espacialmente continuos de alta resolución que describen la sequía meteorológica, agrícola, ecológica e hidrológica para utilizarlos a la hora de supervisar en tiempo real y pronosticar de forma estacional. El ADFM es un sistema integral. Para más información, se puede consultar el portal web⁵ y Sheffield et al. (2013). El sitio web también incluye un tutorial para la producción correcta de los indicadores e índices del ADFM.

Figura 5a. Monitor de sequía de los Estados Unidos para el 29 de noviembre de 2016

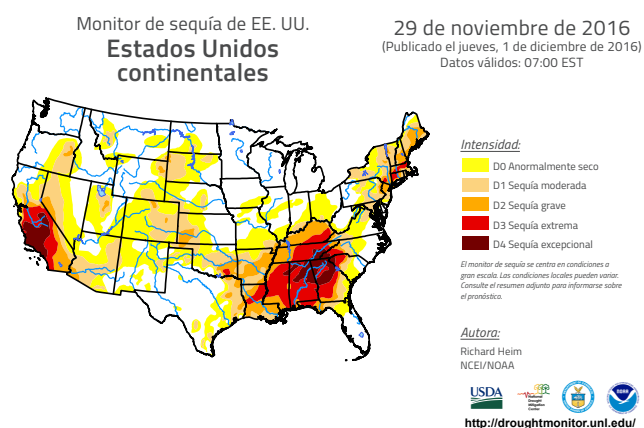
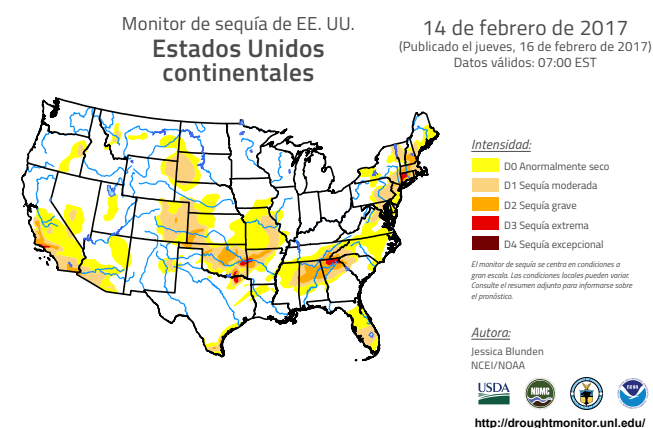


Figura 5b. Monitor de sequía de los Estados Unidos para el 14 de febrero de 2017



Fuente: <http://droughtmonitor.unl.edu/MapsAndData/MapArchive.aspx>

⁵ <http://stream.princeton.edu/AWCM/WEBPAGE/index.php>

Tabla 3. Las categorías de sequía del USDM y su asociación con los seis índices de entrada

Clasificación del monitor de sequía de los EE. UU.							
Tipo de sequía		Rangos asociados de indicadores					
Categoría	Descripción	Sequía de Palmer	Humedad del suelo del CPC	USGS semanal	Porcentaje habitual	Precipitación estandarizada	Vegetación satelital
S0	Anormalmente seco	-1,0 a -1,9	21-30	21-30	< 75 % durante 3 meses	-0,5 a -0,7	36-45
S1	Sequía moderada	-2,0 a -2,9	11-20	11-20	< 70 % durante 3 meses	-0,8 a -1,2	26-35
S2	Sequía grave	-3,0 a -3,9	6-10	6-10	< 65 % durante 6 meses	-1,3 a -1,5	16-25
S3	Sequía extrema	-4,0 a -4,9	3-5	3-5	< 60 % durante 6 meses	-1,6 a -1,9	6-15
S4	Sequía excepcional	-5,0 o menos	0-2	0-2	< 65 % durante 12 meses	-2,0 o menos	1-5

Fuente: Svoboda et al. (2002).

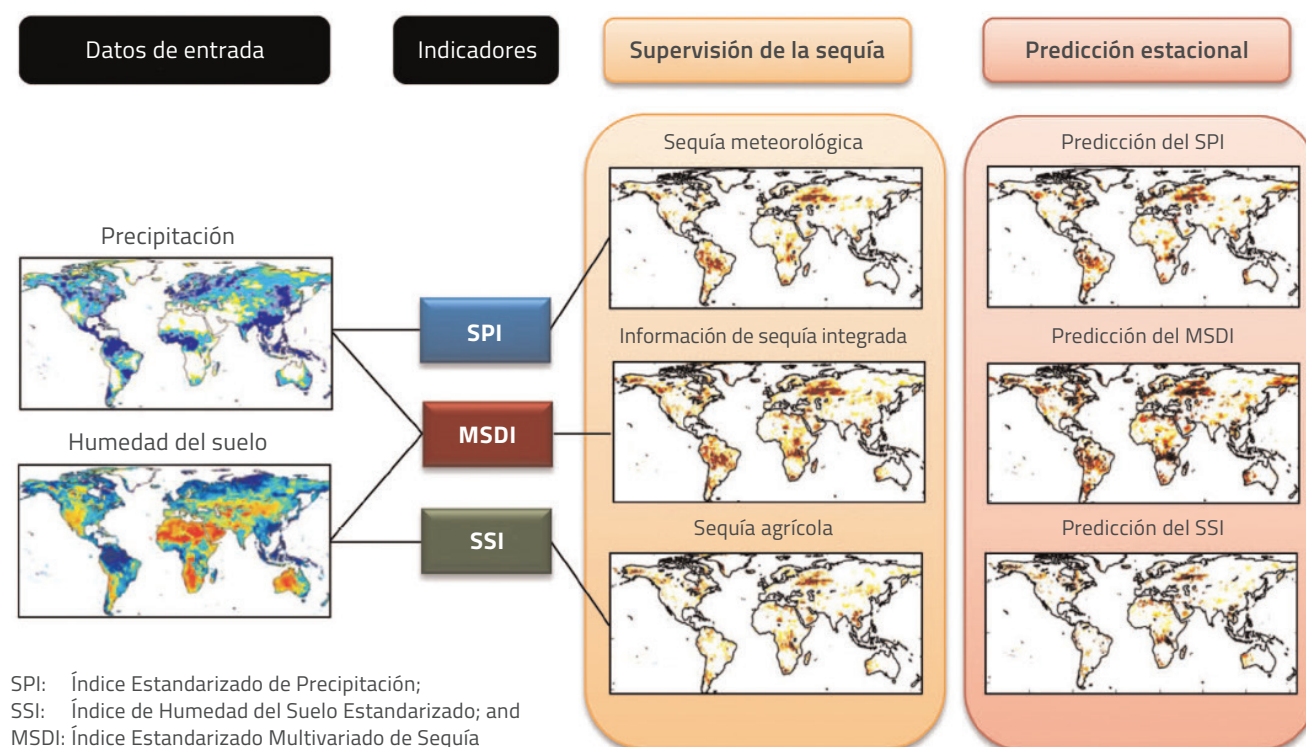
A escala global, el **sistema global integrado de predicción y supervisión de sequías (GIDMaPS)** (Figura 6) combina indicadores de precipitación (SPI), humedad del suelo (SSI) y multivariados (MDSI) (Hao y AghaKouchak 2013, Hao et al. 2014) para supervisar eventos de sequía en tiempo real. Sin embargo, en el momento de la redacción (febrero de 2017), el portal de datos y el sitio web de GIDMaPS no tienen los datos más actualizados y no está claro si el sistema está actualmente operativo. Otro indicador compuesto de la sequía a escala global es el **Sistema mundial de información sobre la sequía (GDIS)** (Nijssen et al. 2014). El GDIS utiliza

la precipitación satelital, temperaturas modeladas del aire y múltiples modelos de superficie terrestre para simular la capacidad de almacenamiento de humedad superficial, combinada para producir estimaciones multimodelo casi en tiempo real de las condiciones de sequía, definidas como percentiles de déficits de humedad en el suelo. El GDIS puede identificar eventos de sequía y realizar un seguimiento de la progresión de la sequía en tiempo casi real. El GDIS está activo y actualmente está alojado por el Sistema nacional de información sobre la sequía de los Estados Unidos (NIDIS).⁶



⁶ <https://www.drought.gov/gdm/content/welcome>

Figura 6. Vista esquemática del algoritmo global integrado de supervisión y predicción de sequías



Fuente: (Hao et al. 2014).

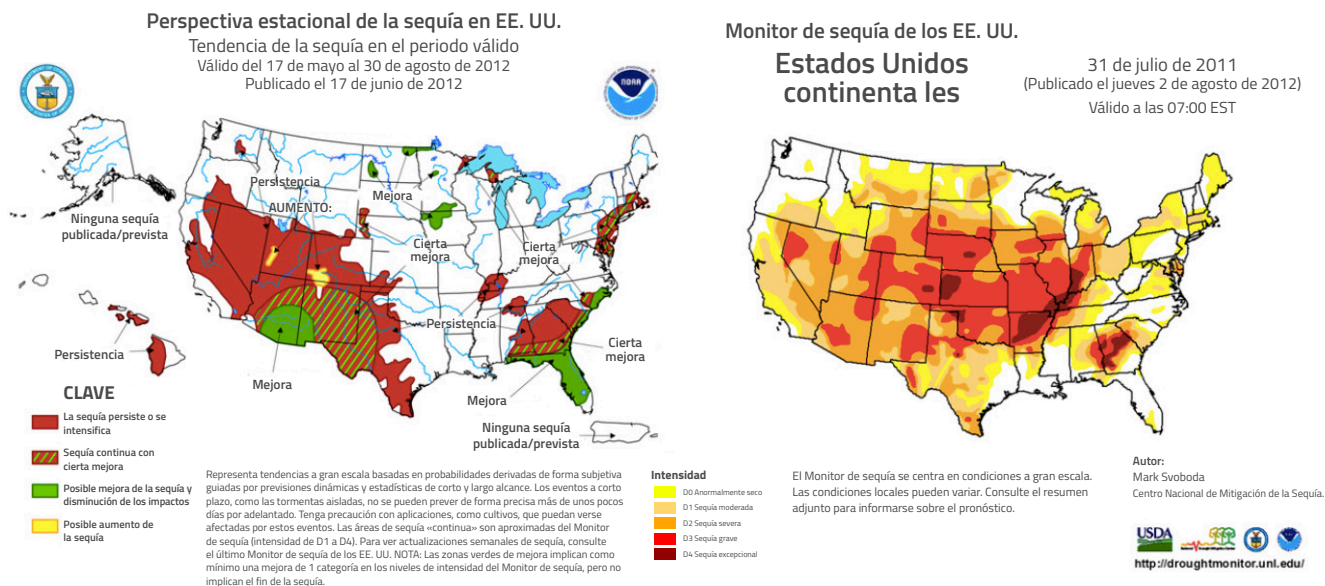
2.5 Previsión fiable de la sequía

A pesar de algunos avances recientes, todavía existen limitaciones significativas en la capacidad para pronosticar el inicio, la duración, la gravedad y la recuperación de la sequía (Wood et al. 2015). La predicción con éxito de la sequía requiere pronósticos de temperatura y precipitación, conocimiento del estado actual de la sequía y la capacidad de modelar con precisión los cambios relacionados en los depósitos de humedad relevantes para la sequía, como la humedad del suelo, el agua subterránea y el manto de nieve (Wood et al. 2015). Las previsiones dependen de la disponibilidad de expertos y de un juicio y experiencia expertos para combinar las perspectivas estacionales de temperatura y precipitación, las previsiones meteorológicas a corto plazo y la información sobre las condiciones hidrológicas, recursos hídricos y la humedad del suelo relacionadas con la sequía. El Monitor de sequía de los Estados Unidos produce perspectivas de sequía estacionales (90 días), que pueden ser inexactas o precisas (Figura 7). Por lo general, pronosticar sequías futuras más allá de plazos cortos como un mes no es fiable, y los pronósticos deben tratarse con cuidado.

Las predicciones a largo plazo de ocurrencia y frecuencia de sequías durante varios años hasta una década que utilizan modelos climáticos globales están surgiendo como una herramienta para apoyar la planificación de la gestión de la sequía.⁷ Los modelos climáticos estiman las tendencias climáticas futuras considerando el clima actual, la variabilidad natural y las influencias humanas sobre el clima, como las emisiones de gases de efecto invernadero y los aerosoles. Los modelos climáticos son iguales o similares a los utilizados en las evaluaciones del cambio climático del IPCC. Un obstáculo significativo para el pronóstico a largo plazo de la sequía utilizando modelos climáticos es la identificación de las relaciones entre los procesos atmosféricos y los procesos oceánicos, como El Niño-Oscilación del Sur y el dipolo del océano Índico, y la contribución de cada proceso a los déficits de precipitación (Taschetto et al. 2016). Un trabajo reciente de Taschetto et al. (2016) sugiere que los procesos oceánicos contribuyen menos a periodos prolongados de lo que se pensaba en un primer momento, lo que significa que los procesos atmosféricos que tienen un grado muy alto de aleatoriedad contribuyen de manera igual o mayor a las sequías. El alto nivel de estocasticidad hace que las predicciones de sequía de varios años sean principalmente del dominio de los investigadores. Estas predicciones requieren una interpretación experta para evaluar su fiabilidad y la utilidad de la aplicación.

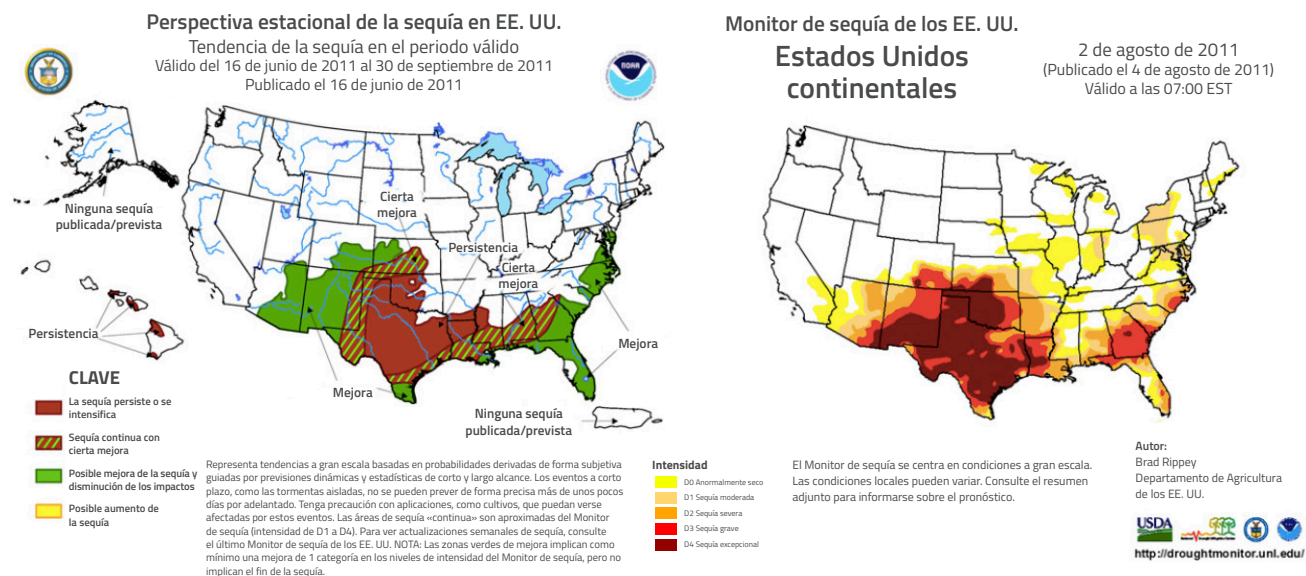
⁷ http://library.wmo.int/opac/doc_num.php?explnum_id=3310

Figura 7a. Pronóstico de sequía estacional sequía observada del USDM para el verano de 2012, que ofrece un ejemplo de un pronóstico muy impreciso



Fuente: Wood et al. (2015)

Figura 7b. Pronóstico de sequía estacional sequía observada del USDM para el verano de 2011, que ofrece un ejemplo de pronóstico preciso



Fuente: Wood et al. (2015).

2.6 Una evaluación del riesgo de sequía para supervisión y alerta temprana

Una evaluación del riesgo de sequía es una de las actividades centrales de establecer un sistema eficaz de supervisión y alerta temprana de sequía. Una evaluación de riesgos ofrece información importante para establecer prioridades y desarrollar acciones que prevengan la sequía y mitiguen sus impactos (Grasso n.d.). Una evaluación del riesgo de sequía amplía la evaluación de vulnerabilidad al incluir información sobre el riesgo de sequía independientemente de los sectores y comunidades potencialmente afectados por ella.

El riesgo de sequía se puede calcular como:

Riesgo de sequía = Vulnerabilidad (V) x Riesgo (R)

La vulnerabilidad (V) se calcula tal y como se describe a continuación (Sección 3.3), y el riesgo (R) es la probabilidad de ocurrencia de sequía calculada utilizando los indicadores e índices desarrollados para el sistema de supervisión y alerta temprana de sequía como se describe en este capítulo (Secciones 2.3 a 2.5).

La evaluación del riesgo de sequía proporciona información importante para ayudar a las autoridades a enfocar las acciones de prevención del riesgo de sequía, mitigación y respuesta a las crisis en aquellas comunidades más vulnerables a la sequía, y en lugares donde las características de sequía son o se esperan que sean más graves. Se recomienda encarecidamente que la evaluación del riesgo de sequía y la planificación de gestión asociada se incorporen en la planificación del uso de las tierras y el desarrollo rural, los sistemas de atención de salud, los enfoques de gestión de los recursos ambientales y naturales, las cadenas de suministro y los modelos comerciales, y los sectores no agrícolas (UNISDR 2015).

Las acciones para limitar los impactos de la sequía y preparar mejor a las comunidades y los sectores económicos para futuras sequías se resumen en el tercer pilar clave de la reducción del riesgo de sequía, que se describe con más detalle en el Capítulo 4.

2.7 Comunicar y responder a las advertencias de sequía

Los sistemas eficaces de supervisión y alerta temprana de sequía requieren una comunicación oportuna, fiable y sencilla de los riesgos de sequía. El objetivo principal de un sistema de alerta temprana es identificar cuándo tomar medidas que reduzcan la posibilidad de perder vidas humanas y mitiguen los impactos sociales, ambientales y económicos de la sequía. La comunicación del riesgo debe ser oportuna para que las autoridades y las comunidades puedan responder adecuadamente. La comunicación debe ser simple para que todos puedan comprender bien los riesgos. La información debe ser científicamente sólida y fiable, para que las autoridades y las comunidades reaccionen a los riesgos con confianza.

Se pueden utilizar varias tecnologías de información y comunicación (TIC) innovadoras para comunicar el riesgo de sequía de forma rápida, generalizada y sencilla (IPCC 2012). Las tecnologías de comunicación móvil y en línea se pueden utilizar para difundir alertas de riesgo de sequía a todas las autoridades con capacidad para tomar decisiones y a todas las personas afectadas. Por ejemplo, la rápida aceptación y el uso generalizado de teléfonos móviles en África ha permitido que muchos países prescindan de las comunicaciones telefónicas fijas tradicionales. El número de teléfonos móviles ha aumentado de menos del 10 % a principios de la década de 2000 a más del 65 % en varios países subsaharianos (Tanzania, Kenia, Ghana, Sudáfrica y Uganda), según una encuesta de 2014, y la comunicación por SMS es el principal uso (Pew Research Center 2015). Un sistema de supervisión y alerta temprana de sequía basado en una plataforma digital, activado automáticamente por la aparición de categorías específicas de sequía, como las descritas en la Tabla 3, podría enviar rápidamente alertas a todos los teléfonos móviles. Se podría activar otra alerta si el sistema de supervisión y alerta temprana de sequía identifica un área que haya pasado o se espera que pase a una categoría de sequía más grave. Las plataformas de redes sociales como Twitter y Facebook ofrecen un espacio oportuno y rentable para difundir información sobre el riesgo de sequía (IPCC 2012).

Otra aplicación innovadora de las TIC para los sistemas de supervisión y alerta temprana de sequía es el uso de aplicaciones de teléfonos inteligentes de ciencia ciudadana como forma rápida y rentable para recopilar información sobre los impactos de la sequía a medida que surgen. La ciencia ciudadana es la recopilación y presentación de datos científicos por parte de científicos aficionados y el público en general (Bonney et al. 2014). Aunque se considera un fenómeno reciente, la ciencia ciudadana lleva siendo practicada por aficionados durante gran parte de la historia registrada. Gracias a la tecnología móvil, en los últimos años, la ciencia ciudadana se ha convertido en una herramienta de investigación aceptada e importante sobre patrones a gran escala en la naturaleza, y es muy prometedora para el enfoque interdisciplinario para el estudio de sistemas ecológicos y humanos acoplados (Crain et al. 2014). Mejorar los sistemas de supervisión y alerta temprana de sequía con información en tiempo real sobre los impactos de la sequía se ha identificado como una prioridad urgente (Bachmair et al. 2016), y el uso de las aplicaciones de teléfonos inteligentes por parte de la ciencia ciudadana permite al público identificar y enviar ejemplos de impactos de la sequía a bases de datos en línea a medida que se van produciendo. A pesar de que las críticas habituales a la calidad de los datos de la ciencia ciudadana también se pueden aplicar a la supervisión del impacto de la sequía, existe una amplia gama de protocolos y herramientas estadísticas disponibles para eliminar los errores y los sesgos (Bird et al. 2014).



3

EVALUAR LA VULNERABILIDAD Y EL RIESGO DE SEQUÍA

3.1 Resumen

Este capítulo proporciona pautas para completar las evaluaciones de vulnerabilidad y riesgo para ubicaciones, personas y economías vulnerables a la sequía. Las evaluaciones de vulnerabilidad intentan comprender quién es vulnerable a qué, cuándo y por qué, y qué se puede hacer para reducir la vulnerabilidad. Las evaluaciones del riesgo de sequía implican la expansión de la vulnerabilidad a la sequía al considerar la probabilidad de ocurrencia del riesgo de sequía. Las evaluaciones de vulnerabilidad y riesgo de sequía se pueden utilizar para identificar formas de mitigar la sequía, diseñar planes de gestión de sequía y respaldar los sistemas de supervisión y alerta temprana. Identificar regiones y comunidades vulnerables a la sequía es esencial para seleccionar los indicadores y desencadenantes de la supervisión y alerta temprana que se pueden aplicar en las ubicaciones más vulnerables. Los planes de respuesta y gestión de sequía también deben adaptarse a las necesidades de los sectores y comunidades vulnerables.

3.2 Definiciones

Existen una gran variedad de estudios de vulnerabilidad a la sequía, y también una falta de comprensión conceptual común de la vulnerabilidad, metodología estandarizada y métricas de vulnerabilidad comunes. La falta de acuerdo sobre las definiciones hace que sea difícil comparar los resultados obtenidos por diferentes evaluaciones de vulnerabilidad a la sequía en un país o región. Por lo tanto, una **definición coherente y un marco conceptual** de vulnerabilidad es el primer paso en una evaluación de vulnerabilidad. Hay dos marcos o definiciones dominantes:

1. De la comunidad de reducción del riesgo de desastres: las condiciones determinadas por factores o procesos físicos, sociales, económicos y ambientales, que aumentan la susceptibilidad de una comunidad al impacto de los riesgos (UNISDR 2015).
2. De la comunidad de adaptación al cambio climático: el grado en que un sistema es susceptible a los efectos adversos de la sequía o no puede hacer frente a ellos.

La vulnerabilidad depende del carácter, la magnitud y el ritmo de la variación climática a la que se ve expuesto un sistema, de su sensibilidad, y de su capacidad de adaptación (IPCC 2014).

La primera definición que proviene de la comunidad de reducción del riesgo de desastres está centrada en las personas y se enfoca en la capacidad de las personas y comunidades para hacer frente a un peligro de sequía y responder ante él. A pesar de que las interdependencias entre las personas y su entorno natural están implícitas en las formas en que las condiciones ambientales pueden influir en la susceptibilidad de una comunidad a la sequía, la definición no proporciona una perspectiva holística que abarque los sistemas sociales, ambientales y económicos. El enfoque holístico es muy importante a la hora de considerar la sequía porque el capital natural y de las tierras desempeña un papel integral a la hora de reducir la vulnerabilidad.

La segunda definición, que proviene de la comunidad de adaptación al cambio climático, adopta una visión holística al identificar la sequía como un impacto en todo el sistema, no solo en las personas y las comunidades. Los elementos centrales de la segunda definición son la exposición, la sensibilidad y la capacidad de adaptación, definidos de la siguiente manera:

- **Exposición:** la naturaleza y el grado en que un sistema experimenta estrés ambiental o sociopolítico (Adger 2006). Las características de tal estrés incluyen su magnitud, frecuencia, duración y extensión del peligro.
- **Sensibilidad:** el grado en que un sistema se modifica o se ve afectado por perturbaciones (Adger 2006), como un cambio en las condiciones climáticas causado por el inicio de la sequía.
- **Capacidad adaptativa:** la capacidad de un sistema para evolucionar y adaptarse a los riesgos ambientales o cambios en las políticas, y para ampliar el rango de variabilidad al que puede hacer frente (Adger 2006). También puede incluir la capacidad de un sistema para aprovechar las oportunidades o hacer frente a las consecuencias (Füssel y Klein 2006).

3.3 Evaluaciones de vulnerabilidad a la sequía

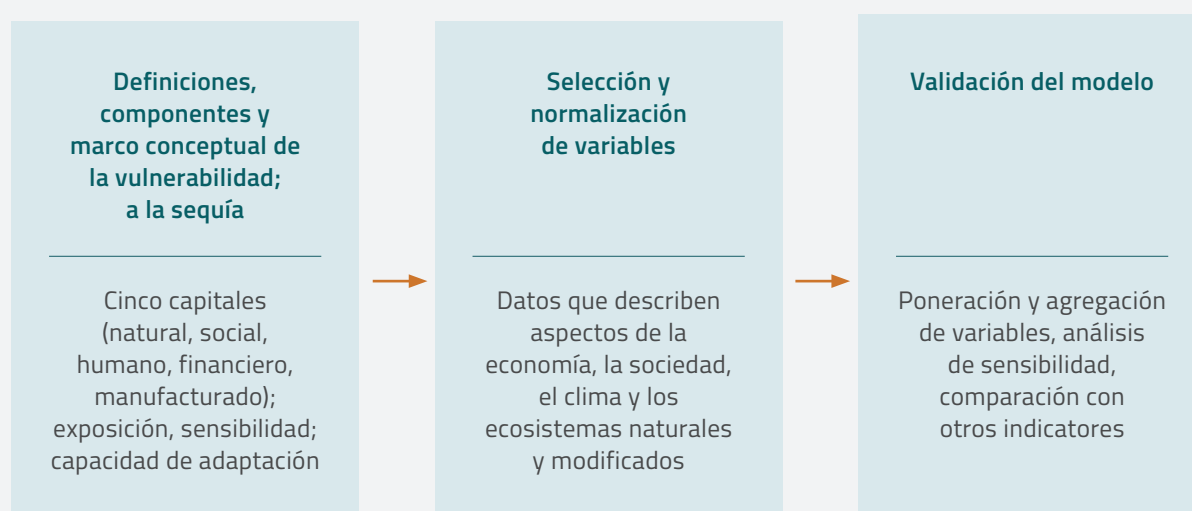
Completar una evaluación de vulnerabilidad a la sequía es importante por varias razones. En primer lugar, identifica las comunidades y sectores que tienen más probabilidades de verse afectados por la sequía. Esto permite diseñar y personalizar planes de gestión de la sequía, políticas y medidas de mitigación de riesgos que priorizan las acciones hacia las comunidades y grupos donde el riesgo es mayor. Además, identificar comunidades y sectores vulnerables es una condición necesaria para desarrollar sistemas de preparación, supervisión y alerta temprana de sequía. Asimismo, una evaluación de vulnerabilidad es un ejercicio importante de aprendizaje y recopilación de conocimientos para comprender mejor los procesos humanos y naturales

que contribuyen a la vulnerabilidad a la sequía, así como a la capacidad de resiliencia de la comunidad. Finalmente, una evaluación de vulnerabilidad puede proporcionar información importante sobre los grupos de la sociedad típicamente marginados, como las mujeres, los niños, los ancianos y enfermos, los sin tierra, los agricultores, los pastores y las comunidades indígenas.

Una evaluación de la vulnerabilidad a la sequía debe enmarcarse utilizando los siguientes pasos (Naumann et al. 2014) (consulte la Figura 8):

1. Definir los componentes de la vulnerabilidad a la sequía: crear un marco conceptual y aclarar definiciones
2. Seleccionar variables y normalizarlas
3. Validación del modelo mediante un análisis de ponderación y sensibilidad, y comparándolo con otros indicadores

Figura 8. Marco metodológico de ejemplo para la evaluación de la vulnerabilidad a la sequía



Fuente: Modificado de Naumann et al. (2014).

3.3.1 Definir los componentes de la vulnerabilidad a la sequía

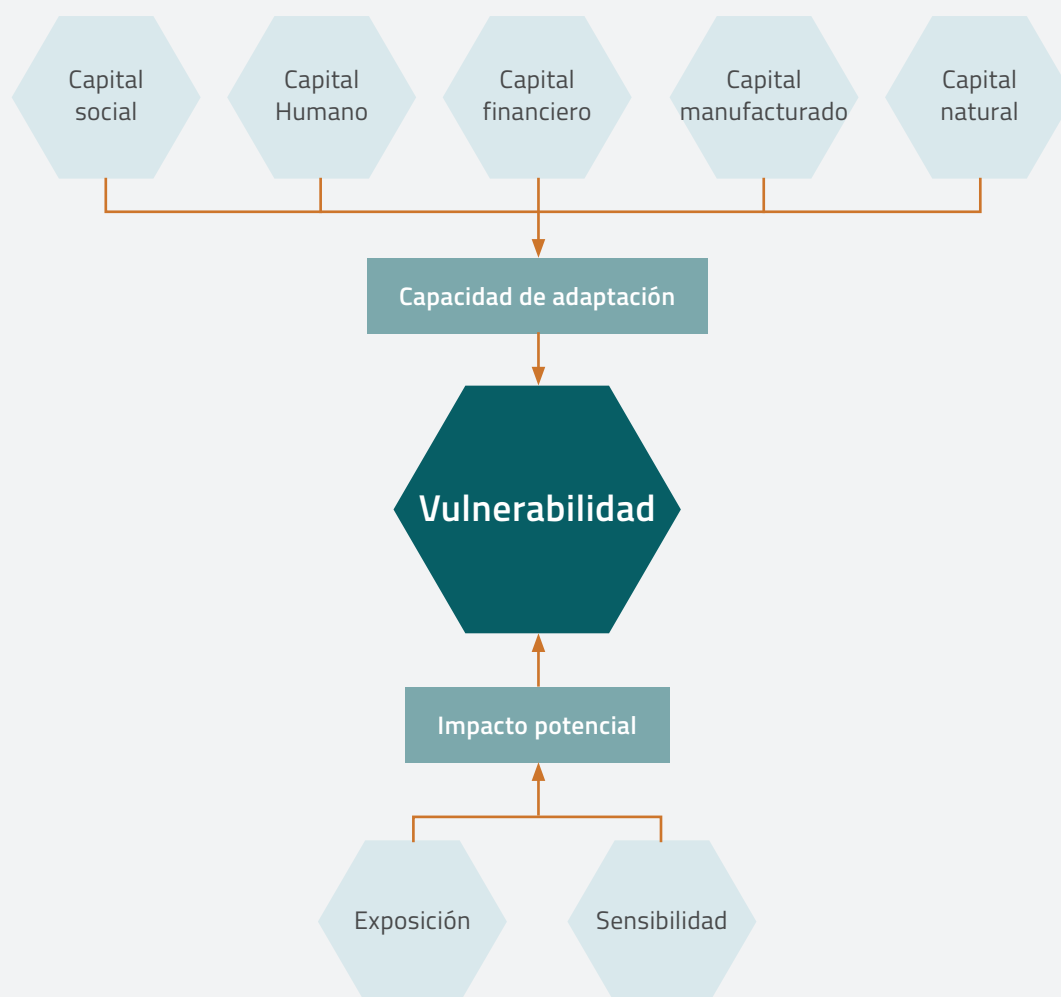
Definir un marco conceptual es el primer paso en una evaluación de vulnerabilidad, para garantizar que las definiciones y los aspectos de la vulnerabilidad a la sequía sean claros. El marco conceptual puede guiar la selección de indicadores y variables (Eriksen y Kelly 2007). La literatura científica sobre adaptación y mitigación del cambio climático abunda en marcos de vulnerabilidad. Una fórmula popular para calcular la vulnerabilidad es:

$$\text{Vulnerabilidad (V)} = \text{Exposición (E)} + \text{Sensibilidad (S)} - \text{Capacidad de adaptación (CA)}$$

Las evaluaciones de vulnerabilidad deben ser consistentes e integrales, e incorporar múltiples dimensiones: social, económica, física, ambiental e institucional. En la Figura 9 se

presenta un marco eficiente para calcular la vulnerabilidad de un sistema a la sequía, que incluye personas, comunidades y sectores. Las variables que describen la sequía, como la extensión espacial, la probabilidad de ocurrencia (según los registros históricos de sequía), las frecuencias proyectadas bajo el cambio climático y la intensidad, se utilizan a menudo para estimar la exposición. Para estimar la sensibilidad, se necesitan variables que describan el sistema de interés (por ejemplo, la agricultura), como la dependencia de los recursos hídricos, el grado de degradación de las tierras, las densidades de población y la diversificación de las fuentes de ingresos. Para estimar la capacidad de adaptación se necesitan variables que describan los cinco tipos de capital (natural, social, humano, financiero y manufacturado). La siguiente sección presenta variables frecuentemente utilizadas en las evaluaciones de vulnerabilidad. Las fuentes de datos potenciales también se proporcionan como una fuente inicial para adquirir datos relevantes.

Figura 9. Marco conceptual que muestra las múltiples dimensiones que se incluirán para evaluar la vulnerabilidad a la sequía



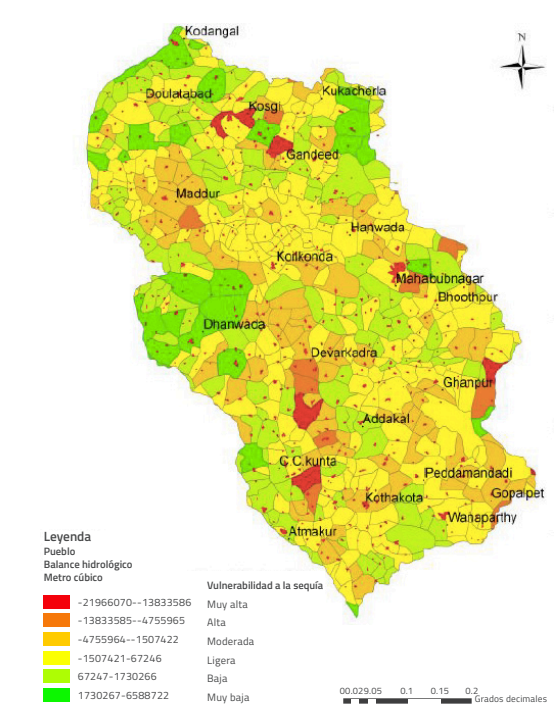
Fuente: Modificado de Gbetibouo et al. (2010)

3.3.2 Seleccionar variables para la evaluación de vulnerabilidad

La selección de variables para una evaluación de vulnerabilidad a nivel nacional se ve obstaculizada por la distribución geográficamente desigual de las presiones y respuestas inducidas por la sequía en el tiempo y el espacio (Eriksen y Kelly 2007). Los impactos de la sequía varían entre comunidades, grupos sociales dentro de una comunidad, entre hogares y entre personas dentro de un hogar. También existe una heterogeneidad espacial de las características socioeconómicas y niveles de adaptación de la tecnología que influyen en las respuestas de adaptación (Stringer et al. 2009, Corbeels et al. 2014, UNISDR 2015, McNeeley et al. 2016).

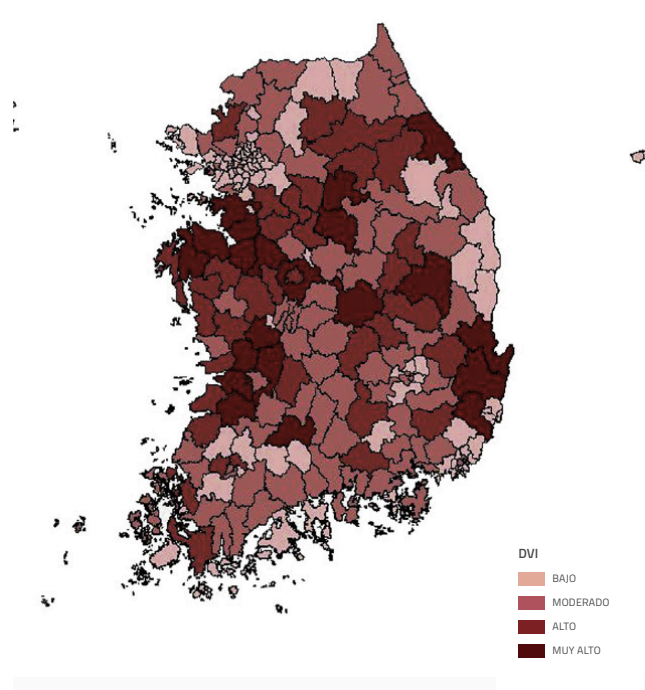
Eriksen y Kelly (2007) aconsejan que los indicadores deben ser lo suficientemente sensibles en escala y tiempo para capturar patrones locales de variabilidad, de modo que los «focos de vulnerabilidad», por ejemplo, áreas geográficas o sectores de una comunidad donde los factores y procesos conspiran para acabar con la capacidad de respuestas, se pueden evaluar en la evaluación. Las evaluaciones de vulnerabilidad realizadas a escala subnacional pueden ser más atinadas, ya que pueden incluir datos más detallados a mayor resolución, así como enfoques participativos y cualitativos. Pero estas evaluaciones no pueden proporcionar una comparación a nivel nacional, que a menudo es necesaria para asignar los recursos de gestión de sequía. La Figura 10 muestra ejemplos de evaluaciones de vulnerabilidad a diferentes escalas, que ponen de relieve los distintos detalles de la información en relación con la escala de la toma de decisiones.

Figura 10a. Ejemplos de evaluaciones de vulnerabilidad a la sequía a nivel de pueblos/Andhra Pradesh, centro-sur de la India



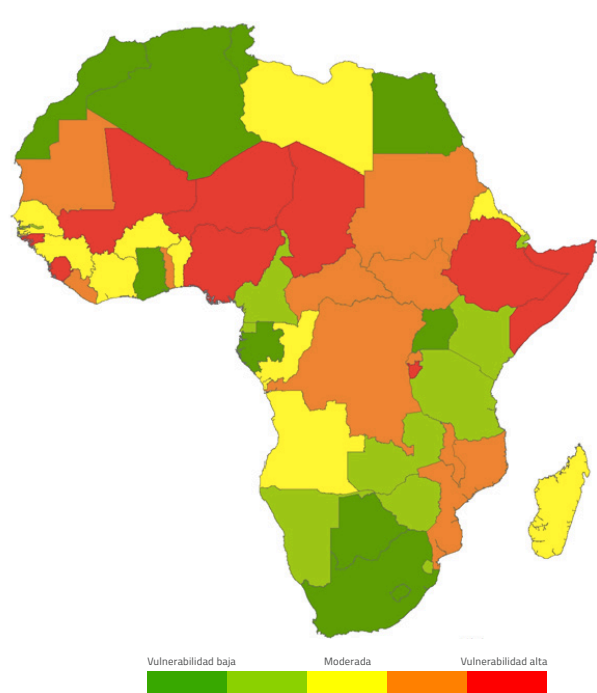
Fuente: Ganapuram et al. 2013.

Figura 10b. Ejemplos de evaluaciones de vulnerabilidad a la sequía a nivel nacional/distritos administrativos en Corea del Sur



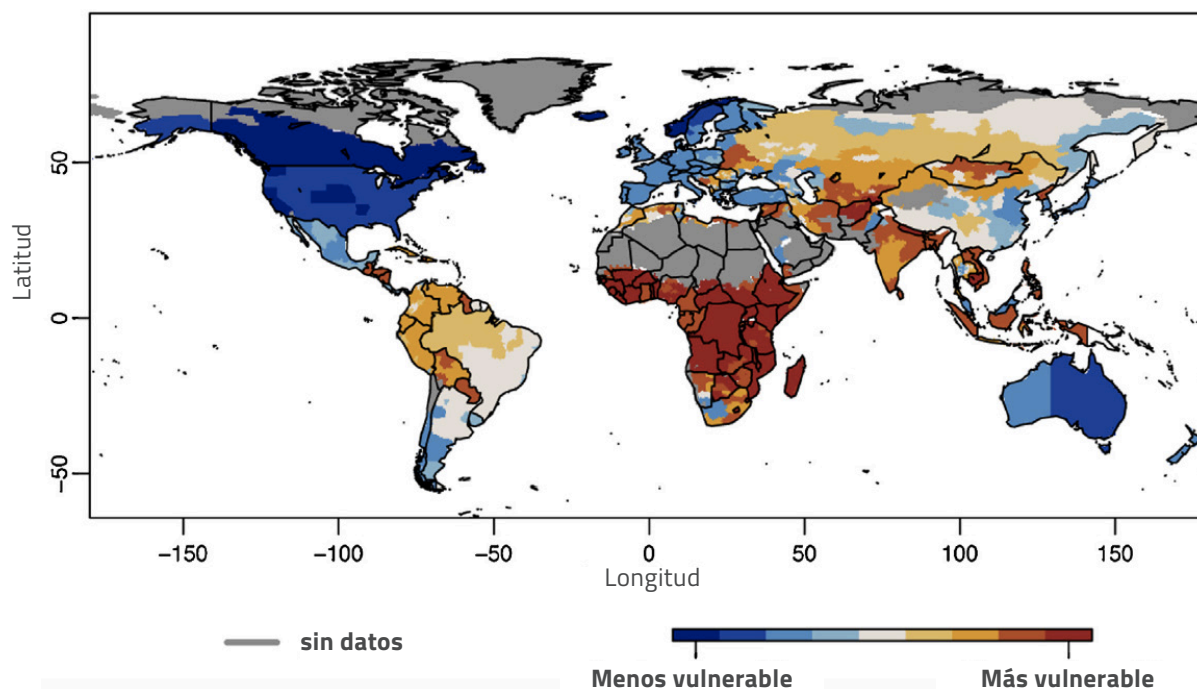
Fuente: Kim et al. 2015

Figura 10c. Ejemplos de evaluaciones de vulnerabilidad a la sequía a escala continental/países de África



Fuente: Naumann et al. 2014.

Figura 10d. Ejemplos de evaluaciones de vulnerabilidad a la sequía a escala global



Fuente: Carrão et al. 2016.

El trabajo de selección de variables viene facilitado por una revisión reciente de González Tánago et al. (2016), que evaluaron 41 evaluaciones de vulnerabilidad a la sequía y tabularon los factores y variables más utilizados. Dos estudios recientes de evaluaciones de vulnerabilidad a la sequía para África (Naumann et al. 2014) y a nivel mundial (Carrão et al. 2016) proporcionan una guía útil sobre la selección de variables. La Tabla 4 resume variables habituales utilizadas en las recientes evaluaciones de vulnerabilidad africanas y globales. Si bien muchas de las variables e indicadores enumerados en la Tabla 4 son datos a escala global en una resolución de país, muchos de los indicadores y variables podrían estar disponibles a mayor escala a través de agencias nacionales de estadística o institutos de investigación. Para evaluar la vulnerabilidad a escala nacional o subnacional, se puede utilizar la tabla como punto de partida para seleccionar variables, y se puede consultar a las agencias estadísticas para conocer la disponibilidad a nivel nacional.

Las variables biofísicas que se usan con mayor frecuencia en las evaluaciones de vulnerabilidad para caracterizar el inicio, la duración, el alcance y la intensidad de la sequía, como el SPI, el NDVI, la precipitación, la humedad del suelo y la disponibilidad de recursos hídricos, también son indicadores que se usan a menudo en los sistemas de supervisión y alerta temprana de sequía. Es importante que el uso de los indicadores en los sistemas de supervisión y alerta temprana de sequía sea consistente, para que el inicio de la sequía y su impacto en los sistemas vulnerables sea explícito y se pueda reconocer pronto. La selección de las variables para una evaluación debe guiarse por los indicadores utilizados

en la supervisión. Además, las variables que se usan para evaluar la vulnerabilidad y supervisar la sequía también se pueden utilizar para cuantificar el componente de riesgo de sequía de una evaluación de riesgo (consulte la Sección 2.6 a continuación).

3.3.3 Preparación de variables para la evaluación de vulnerabilidad

Todas las variables seleccionadas deben normalizarse usando la transformación mínima-máxima a una escala común. Por ejemplo, Wiréhn et al. (2015) usan la siguiente fórmula para normalizar los valores de las variables en el rango de 0 a 100:

$$\text{Valor del indicador normalizado} = \frac{(\text{Valor Real} - \text{Valor Mínimo})}{(\text{Valor Máximo} - \text{Valor Mínimo})} \times 100$$

La normalización es muy importante, ya que garantiza que todas las variables deben tener el mismo rango y distribución para combinarse de forma válida en una evaluación de vulnerabilidad. Antes de que se complete la evaluación de vulnerabilidad, se deben probar todas las variables para determinar su colinealidad e independencia con un análisis exploratorio de los indicadores iniciales de vulnerabilidad. No deben usarse índices altamente correlacionados. Hay ejemplos disponibles para probar y eliminar variables correlacionadas (O'Brien 2007, Kim et al. 2015), pero su uso requiere un alto nivel de experiencia técnica, por lo que se debe consultar a un estadístico para obtener asesoramiento.

Tabla 4. Dimensiones e indicadores/variables comunes a escala mundial utilizados en las evaluaciones de vulnerabilidad a la sequía

National data and statistics agencies should be consulted for finer resolution national-scale data.

Dimensión	Indicadores/variables de ejemplo	Resolución	Fuente de datos a escala global
Exposición			
Características de la sequía	Índice estandarizado de precipitación (SPI)	Varias	IRI http://iridl.ldeo.columbia.edu/maproom/Global/
	Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI)	~10 km	NASA https://neo.sci.gsfc.nasa.gov
Climática (actual, futura)	Precipitación (mm/año)	Varias	FAO Aquastat http://www.fao.org/nr/water/aquastat/main/index.stm
	Temperatura	Varias	IRI http://iridl.ldeo.columbia.edu/maproom/Global/
	Evapotranspiración	Varias	http://www.ntsug.umd.edu/project/mod16
Suelo y topografía	Propiedades del suelo	250 m-1 km	ISRIC https://www.soilgrids.org/
Disponibilidad de recursos hídricos	Recursos hídricos renovables totales per cápita (m ³ /persona/año)	País	FAO Aquastat http://www.fao.org/nr/water/aquastat/main/index.stm
Sensibilidad			
Uso de recursos hídricos	Proporción de tierra cultivada regada (%)	País	FAO Aquastat http://www.fao.org/nr/water/aquastat/main/index.stm
	Relación entre las extracciones anuales totales de agua y el suministro anual total disponible	País o cuenca fluvial	WRI Aqueduct http://www.wri.org/applications/maps/aqueduct-country-river-basin-rankings/
	Acceso a agua potable segura (% de la población total)	País	FAO Aquastat http://www.fao.org/nr/water/aquastat/main/index.stm
Uso de las tierras	Área cultivada (% del área total de las tierras)	País	FAO Aquastat http://www.fao.org/nr/water/aquastat/main/index.stm
Degradación de las tierras	Mapa mundial de degradación del suelo (GLASOD)	Varias	ISIRC http://www.isric.org/projects/global-assessment-human-induced-soil-degradation-glasod
Diversificación económica	Agricultura como proporción del PIB (% del PIB total)	País	FAO Aquastat http://www.fao.org/nr/water/aquastat/main/index.stm
Diversificación económica	Agricultura como proporción del PIB (% del PIB total)	País	FAO Aquastat http://www.fao.org/nr/water/aquastat/main/index.stm
Capital social			
Prevención de catástrofes	Puntaje de reducción del riesgo de desastres	País	Datos de acceso abierto del Banco Mundial http://data.worldbank.org
Gobernanza y corrupción	Indicadores de gobernanza mundial	País	Banco Mundial http://info.worldbank.org/governance/wgi/index.aspx#home

Dimensión	Indicadores/variables de ejemplo	Resolución	Fuente de datos a escala global
Distribución de ingresos	Coefficientes de Gini	País	Banco Mundial http://www.worldbank.org/en/research/brief/all-the-ginis
Empleo	Desempleo (% de la población activa total)	País	Datos de acceso abierto del Banco Mundial http://data.worldbank.org
Acceso a los servicios	Abastecimiento de agua potable (% de la población rural con acceso)	País	Datos de acceso abierto del Banco Mundial http://data.worldbank.org
Población rural-urbana	Población rural (% de la población total)	País	Datos de acceso abierto del Banco Mundial http://data.worldbank.org
Acogida de refugiados	Población de refugiados por país de asilo	País	Datos de acceso abierto del Banco Mundial http://data.worldbank.org
Igualdad de género	Índice de desigualdad de género	País	FAO Aquastat http://www.fao.org/nr/water/aquastat/main/index.stm
Capital natural			
Cubierta terrestre	Cubierta arbórea global (% por píxel)	30 m	USGS https://landcover.usgs.gov/glc/
	Tierra desnuda global (% por píxel)	30 m	USGS https://landcover.usgs.gov/glc/
Biodiversidad	Productividad primaria neta mensual	10 km	NASA https://neo.sci.gsfc.nasa.gov
Capital humano			
Alfabetización y la escolarización	Tasas de alfabetización (% de personas mayores de 15 años)	País	Datos de acceso abierto del Banco Mundial http://data.worldbank.org
Prevalencia de salud y enfermedades	Esperanza de vida al nacer (años)	País	Datos de acceso abierto del Banco Mundial http://data.worldbank.org
	Prevalencia de desnutrición (% de la población total)	País	FAO Aquastat http://www.fao.org/nr/water/aquastat/main/index.stm
Distribución de la población	Población de 15 a 64 años (% de la población total)	País	Datos de acceso abierto del Banco Mundial http://data.worldbank.org
Capital financiero			
Ingresos (individuales, nacionales)	PIB per cápita	País	Datos de acceso abierto del Banco Mundial http://data.worldbank.org
Tasas de pobreza	Pobreza a 1,90 \$ por día, PPA 2011 (% de la población total)	País	Datos de acceso abierto del Banco Mundial http://data.worldbank.org
Deuda pública	Deuda del gobierno central (% del PIB)	País	Datos de acceso abierto del Banco Mundial http://data.worldbank.org
Capital manufacturado			
Desarrollo de infraestructuras	Capacidad de almacenamiento de agua (como % de los recursos hídricos totales disponibles)	País	FAO Aquastat http://www.fao.org/nr/water/aquastat/main/index.stm
Consumo energético	Uso de energía per cápita (MBtu por persona)	País	Administración de Información Energética de EE. UU. http://www.eia.gov/beta/international/

Fuente: Modificado de Carrão et al. (2016) y Naumann et al. (2014).

La siguiente actividad es aplicar un esquema de ponderación a las variables para representar el nivel de importancia de los aportes a la evaluación de vulnerabilidad de manera adecuada. Los esquemas de ponderación se pueden dividir en tres grupos:

1. Elección arbitraria de ponderaciones igualitarias
2. Métodos estadísticos
3. Criterio de expertos

Los ponderaciones igualitarias no son válidas, ya que los indicadores de vulnerabilidad no contribuyen de manera igualitaria, y el criterio de los expertos está limitado por la disponibilidad de los propios expertos (Gbetibouo et al. 2010). Se prefieren los métodos estadísticos, que podrían usar técnicas de **análisis de componentes principales (ACP)** o análisis factorial. Un ACP es una técnica para extraer, de un conjunto de variables, unas pocas combinaciones lineales ortogonales que capturen con mayor éxito la información común. Esto también implica un alto nivel de experiencia técnica; por lo tanto, se debe consultar con un estadístico. La revisión de las evaluaciones de vulnerabilidad de González Tánago et al. (2016) concluyó que poco menos de dos tercios de los investigadores mencionan y describen el esquema de ponderación aplicado. Casi la mitad de ellos utilizan métodos estadísticos, como el análisis de componentes principales, mientras que ocho de ellos consultaron a expertos o partes interesadas para sopesar las variables (González Tánago et al. 2016).

3.3.4 Validar el modelo de evaluación de vulnerabilidad

Los métodos utilizados para desarrollar y probar la validez de un modelo de evaluación de vulnerabilidad tendrán un impacto sustancial en los resultados. Los métodos y las variables subyacentes deben ser visibles. Una evaluación de vulnerabilidad sólida comparable a través del tiempo y las ubicaciones debe ser transparente (Eriksen y Kelly 2007). La transparencia se incrementa mediante un análisis de incertidumbre (o sensibilidad) que añade o elimina sistemáticamente una variable y ajusta sistemáticamente las ponderaciones y los esquemas de ponderación. El impacto de añadir o eliminar una variable y modificar el esquema de ponderación en los resultados de la evaluación de vulnerabilidad debería ser la principal preocupación al crear el indicador compuesto de vulnerabilidad, aunque esto a menudo no se aborda en las evaluaciones de vulnerabilidad de sequía publicadas (González Tánago et al. 2016).

Un **análisis de incertidumbre (o sensibilidad)** investiga cómo la incertidumbre en los factores de entrada, como las variables, el esquema de ponderación y el método de agregación, se extiende por la estructura de la evaluación de vulnerabilidad a la sequía y sus resultados. Por ejemplo, un análisis de sensibilidad podría involucrar múltiples

evaluaciones del modelo de vulnerabilidad utilizando tres esquemas de ponderación diferentes, dos esquemas de agregación de variables diferentes y la eliminación y adición sistemática de cada variable para generar muchos resultados de modelos diferentes. Las principales decisiones probadas para este análisis son:

1. Inclusión o exclusión de variables para los diferentes esquemas de ponderación
2. Agregaciones variables en las dimensiones de vulnerabilidad según el marco teórico (Figura 9)

Se debe consultar a expertos en modelación ambiental y análisis estadístico en materia de análisis de incertidumbre y sensibilidad.

Un enfoque común para **probar la validez de la evaluación de vulnerabilidad** es correlacionar los resultados con los datos de impacto de sequías anteriores. Muchos países y regiones no tienen bases de datos completas de los impactos de la sequía, lo que crea limitaciones para probar la validez con el método descrito. La validación también se ha realizado a través de encuestas de campo, reuniones y entrevistas con la comunidad, reuniendo opiniones de expertos y consultando literatura especializada. Por ejemplo, Naumann et al. (2014) correlacionaron la vulnerabilidad a la sequía con el número de personas extraído de la base de datos internacional de desastres OFDA/CRED, que según los informes se vieron afectadas por los desastres de la sequía.⁸ Esta base de datos global sobre desastres naturales y tecnológicos contiene datos sobre la ocurrencia y los efectos de los desastres naturales en todo el mundo desde 1900 hasta el presente.

Otro aspecto importante de la evaluación de la vulnerabilidad a la sequía es la **participación del usuario final**. Involucrar a los usuarios finales en partes del desarrollo del modelo de vulnerabilidad y el proceso de evaluación aporta credibilidad al modelo y valida los resultados, ya que estos serán más relevantes si los usuarios finales participan en el proceso de evaluación. Es importante presentar los resultados a los usuarios finales de una manera que sea fácil de entender; en evaluaciones anteriores, esto se ha hecho con los mapas (González Tánago et al. 2016). Los diagramas de araña y la presentación simple de puntajes son efectivos para comunicar los resultados de las evaluaciones de vulnerabilidad a la sequía a los usuarios finales. Una presentación sencilla de los resultados de la evaluación de vulnerabilidad hace que sea más fácil para los responsables políticos visualizar los peligros y comunicarlos a las partes interesadas potencialmente afectadas, como los productores agrícolas (Wilhelmi y Wilhite 2002). Es importante invertir en hacer que los resultados de la evaluación sean accesibles, por ejemplo, seleccionando una gama intuitiva de colores para el mapeo con el fin de llegar a audiencias analfabetas (Ganapuram et al. 2013).

⁸ www.emdat.be, Universidad Católica de Lovaina, Bélgica



4

LIMITAR LOS IMPACTOS DE LA SEQUÍA Y RESPONDER MEJOR A ELLA

4.1 Resumen

Este capítulo proporciona información sobre medidas estructurales (físicas) y no estructurales que pueden implementarse para reducir los impactos de la sequía para las naciones, los sectores económicos y las comunidades. El capítulo también proporciona información sobre estrategias de intervención y asistencia a corto y largo plazo durante o inmediatamente después de la sequía. En línea con el marco DRAMP, el capítulo cubre acciones que reducen la exposición a la sequía (mitigación y respuesta) y aumentan la resiliencia ante el riesgo de sequía (mitigación y respuesta), y presenta enfoques novedosos para compartir los riesgos de sequía de manera más equitativa (mitigación), en lugar de que el riesgo afecte desproporcionadamente a las comunidades y sectores más vulnerables a la sequía. Algunas de las medidas discutidas aquí pueden requerir un cambio transformacional en las estructuras sociales, políticas y culturales.

4.2 Definiciones

La comunidad de reducción del riesgo de desastres define la **mitigación** de desastres como medidas estructurales (por ejemplo, infraestructura y tecnologías concebidas y construidas) y no estructurales (por ejemplo, políticas y sensibilización) emprendidas para limitar el impacto adverso de los peligros naturales.⁹ Por ejemplo, plantar cultivos tolerantes a la sequía o crear conciencia sobre el riesgo de sequía a través de proyectos educativos escolares son acciones que pueden mitigar el impacto de la sequía. La **respuesta** ante catástrofes se define como los esfuerzos para preservar la vida y satisfacer las necesidades básicas de subsistencia de las personas afectadas por el desastre, como la provisión de asistencia o intervención durante o inmediatamente después de un desastre⁹.

4.3 Reducir la exposición y aumentar la resiliencia ante la sequía

Reducir la exposición a la sequía tiene como objetivo reducir el potencial de pérdida para las personas, los medios de vida, los servicios y recursos del ecosistema, la infraestructura y los activos económicos, sociales o culturales. Aumentar la resiliencia ante la sequía tiene como objetivo fortalecer la capacidad de las comunidades, los ecosistemas y las economías para anticipar, absorber, acomodar o recuperarse de los efectos de la sequía de manera oportuna y eficiente. La exposición y la resiliencia están estrechamente vinculadas porque las opciones que a menudo reducen la exposición a su vez aumentan la resiliencia. Por ejemplo, la diversificación del sistema agrícola y la adopción de prácticas sostenibles de gestión de las tierras, como la agricultura climáticamente inteligente y la infraestructura natural, reducen las pérdidas potenciales de la sequía y ayudan a asimilar mejor los efectos de periodos prolongados de precipitaciones anormalmente bajas (Coates y Smith 2012). Las medidas estructurales, como la nueva infraestructura de almacenamiento de agua y entrega de riego, pueden reducir las áreas de agricultura expuestas a riesgos de sequía al reducir el potencial de pérdidas económicas, así como aumentar la capacidad de recuperación al mejorar la seguridad del agua en momentos de estrés.

4.3.1 Diversificar y modernizar la agricultura

La reducción del número de personas, medios de vida y sectores afectados negativamente por la sequía implica la despoblación o reducción de la dependencia de los modos de agricultura de subsistencia y monocultivo en las áreas más afectadas y vulnerables. Las políticas que fomentan la diversificación de las tierras y los sistemas de producción agrícola para reducir la dependencia de cultivos únicos y tipos de uso de las tierras también reducirán la exposición de las comunidades a la sequía (Collier y Dercon 2014, Lei et al. 2014). La resiliencia ante la sequía en los sistemas

⁹ <https://www.unisdr.org/we/inform/terminology>

agrícolas se puede mejorar diversificando la composición y el movimiento del ganado, así como los tipos de cultivos y los tiempos de siembra, gestionando la capacidad de carga de los pastizales en línea con las fluctuaciones climáticas, aumentando la disponibilidad y el acceso al agua y, especialmente en África, apoyando sistemas agrícolas que acomodan tanto a pequeños propietarios como a granjas a gran escala (Goldman y Riosmena 2013, Collier y Dercon 2014, Opiyo et al. 2015).

La migración masiva fuera de las zonas propensas a la sequía no es una alternativa legítima a menos que sea parte del proceso de transición socioeconómica y estructural de comercialización y modernización agrícola de los países en desarrollo (Pingali 1997, Collier y Dercon 2014). Las políticas que apoyan la comercialización, la mecanización y el aumento de la productividad laboral resultante de la agricultura que sigue a la adopción de nuevas tecnologías y la diversificación de cultivos generalmente conducirán a mayores rendimientos y una menor demanda de mano de obra. Por ejemplo, la emigración masiva de mano de obra desde las áreas rurales en China desde la década de 1970 fue impulsada por la política agrícola y la reforma comercial del gobierno central junto con la reforma de la tenencia de las tierras, la liberalización del mercado de alimentos y la inversión general en infraestructura agrícola e investigación agrícola (Carter et al. 2012, Deininger et al. 2014). La proporción de ciudadanos que trabajan en la agricultura disminuyó de alrededor del 70 % en 1978 al 38 % en 2009, y durante el mismo periodo, el sector agrícola creció en más del 300 % en términos reales (Carter et al. 2012). Es importante tener en cuenta que el aumento de la productividad agrícola visto en China se ha logrado en parte mediante la apertura de nuevas tierras para la agricultura en el norte más seco del país, lo que solo ha sido posible mediante el desarrollo del riego de aguas subterráneas. El consiguiente agotamiento rápido de los recursos de aguas subterráneas es insostenible, lo que plantea una gran preocupación para los gobiernos centrales y regionales (Carter et al. 2012).

4.3.2 Gestión sostenible de los recursos hídricos y terrestres

La modernización y la intensificación sostenible de la agricultura que promueven un cambio de la agricultura de subsistencia a una orientada al mercado podrían conducir al abandono de tierras marginales y áreas propensas a la sequía si las oportunidades para explotar las aguas subterráneas son limitadas (Pingali 1997) o la degradación de las tierras y la desertificación hacen que la agricultura no sea rentable económicamente. Dile et al. (2013) argumentan que la **modernización, la intensificación sostenible y la adopción de tecnologías de recolección de agua** podrían cerrar la brecha de rendimiento en la agricultura subsahariana, limitando la expansión de la agricultura y fomentando la restauración de tierras degradadas. Las prácticas de recolección de agua in situ incluyen la formación de surcos en los campos para disminuir la escorrentía, el acolchado para reducir la evaporación de la humedad del suelo y la labranza reducida o nula. Las

opciones ex situ incluyen pequeñas represas de recolección de agua y medidas agroforestales que estabilizan los suelos y mejoran los microclimas para reducir la evaporación. Además del efecto positivo de la recolección de agua sobre los rendimientos agrícolas, se pueden obtener muchos beneficios de biodiversidad, calidad del agua, restauración de las tierras y reducción de la erosión del suelo a través de técnicas diseñadas principalmente para reducir la exposición y aumentar la resiliencia ante la sequía (Dile et al. 2013).

La implementación de principios de Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH) para reducir la presión sobre los recursos hídricos y el desarrollo de políticas para alentar la recolección de agua de lluvia con el fin de aumentar la disponibilidad de agua pueden reducir la exposición de las comunidades agrícolas vulnerables a los riesgos de sequía en el África subsahariana y en otros lugares (Mwenge Kahinda et al. 2010, Lebel et al. 2015). Muchas opciones de GIRH están disponibles para mejorar el suministro y reducir la demanda de recursos hídricos con el fin de limitar la exposición.¹⁰ Algunas de las opciones son medidas a largo plazo que se implementan en preparación para futuras sequías, mientras que otras son a corto plazo y se pueden implementar durante la sequía para reducir la exposición. Las mejoras en el suministro son en su mayoría opciones a largo plazo, más allá de la recolección de agua de lluvia y los enfoques basados en la naturaleza ya discutidos, e involucran grandes proyectos de infraestructura, como almacenes nuevos o ampliados, acueductos y canales, desalinización, tratamiento y reutilización de aguas residuales, recarga de aguas subterráneas y siembra de nubes. Las opciones de reducción de la demanda son sustancialmente más rentables y se pueden implementar a corto plazo, lo que las hace adecuadas para implementarlas durante la sequía en respuesta a desencadenantes específicos de gravedad. Las medidas de demanda incluyen programas de educación sobre ahorro de agua, regulación de la asignación y uso del agua, supervisión del agua, sistemas de medición y pronóstico, mercados y precios del agua, y tecnologías eficientes en el uso del agua. La implementación de las opciones de aumento de la oferta y gestión de la demanda debe ser justa, equitativa y dirigida a reducir la vulnerabilidad.

Para cada sector vulnerable a la sequía, hay muchas opciones específicas disponibles para aumentar la oferta y reducir la demanda; demasiado numerosas para enumerarlas aquí. **Se recomienda desarrollar directrices sectoriales específicas para la GIRH, el nivel de desencadenantes de la sequía y la reducción de la exposición.**

Los enfoques de infraestructura verde o basados en la naturaleza para el uso sostenible de las tierras y la gestión de las tierras que implica el uso racional de los recursos naturales para mejorar las condiciones del suelo (por ejemplo, agregar carbono orgánico del suelo), aumentar la biodiversidad y la cubierta vegetal, y mejorar la oferta de servicios del ecosistema reducirán o detendrán la degradación de las tierras y la desertificación, y aumentarán la resiliencia de las comunidades vulnerables y expuestas

¹⁰ Consulte http://www.ais.unwater.org/ais/pluginfile.php/571/mod_page/content/85/FAO.pdf

a los riesgos de sequía (Tsegai et al. 2015, Lei et al. 2016, Tadesse 2016). El suelo es particularmente importante para reducir la vulnerabilidad. Por ejemplo, las características de porosidad, textura, exposición, alivio, cantidad de materia orgánica y densidad aparente del suelo influirán en la retención de agua del suelo. Lo mejor para absorber y recuperarse de los efectos de la sequía es una combinación de una infraestructura física (como el aumento del suministro de agua) y soluciones blandas (como el desarrollo de capacidades, la infraestructura verde y las soluciones basadas en la naturaleza) (Coates y Smith 2012).

4.3.3 Comunicación, educación y desarrollo de capacidades

Las medidas no estructurales para reducir la exposición y aumentar la resiliencia ante los riesgos de sequía se centran en métodos para comunicar y educar a las comunidades sobre el riesgo de sequía (UNISDR 2015, Tadesse 2016) y desarrollar capacidades de adaptación. Por ejemplo, identificar y demostrar vínculos claros entre las intervenciones de reducción del riesgo de sequía en los sistemas agrícolas y las mejoras en los medios de vida motivará a los agricultores a invertir recursos escasos en las intervenciones (Global Water Partnership Eastern Africa 2016). Los niveles relativamente altos de inversión en las fincas en tecnología o el cambio en las prácticas de gestión de las tierras para reducir los riesgos de sequía pueden requerir que los agricultores se endeuden, y serán reacios a dar este paso a menos que los beneficios para sus medios de vida se demuestren claramente. Una comunicación con éxito de las estrategias de reducción del riesgo de sequía a los agricultores y cómo pueden beneficiarse se logra a través de enfoques grupales y de redes sociales para difundir información (Global Water Partnership Eastern Africa 2016). La amplia difusión de los teléfonos móviles y las TIC en las economías menos desarrolladas no solo proporciona una plataforma para distribuir las advertencias de sequía (consulte el Capítulo 2), sino que también se puede utilizar para difundir información sobre prácticas sostenibles de gestión de las tierras que mejoren la resiliencia. Las iniciativas ascendentes dirigidas por la comunidad pueden desarrollar un sentido de propiedad de las estrategias de resiliencia ante la sequía y reducción de riesgos (Global Water Partnership Eastern Africa 2016, Tadesse 2016), que involucran y empoderan a grupos típicamente marginados, como los pobres, los inmigrantes, los pueblos indígenas, las mujeres, los jóvenes, los ancianos y los discapacitados (UNISDR 2015, Tadesse 2016, Windhoek Declaration 2016).

4.4 Transferir y compartir los riesgos de sequía

Compartir los riesgos de sequía significa transferir los riesgos de los más vulnerables a la comunidad en general, que tradicionalmente puede no verse directamente afectada por la sequía, pero que se beneficia de la mitigación o eliminación

de sus impactos. El objetivo es diseñar e implementar estrategias financieras inteligentes y de reducción de riesgos que apoyen la ayuda, la reconstrucción y la recuperación de los medios de vida en las áreas afectadas. Estas herramientas necesitan movilizar recursos financieros, involucrando al sector privado (Tadesse 2016). Algunos ejemplos de enfoques inteligentes incluyen productos de seguros (microseguros, reaseguros) y la expansión de los grupos de riesgo a escalas nacionales, regionales y globales.

Un enfoque novedoso presentado por Shiferaw et al. (2014) es el desarrollo del seguro de índice meteorológico. El seguro basado en índices es un tipo de seguro vinculado a un índice como la precipitación, la temperatura o el rendimiento de los cultivos, en oposición a las pérdidas reales que podrían ser difíciles de evaluar. El seguro basado en índices tiene costes de transacción más bajos y se puede aplicar ampliamente en áreas rurales a través de estaciones meteorológicas, lo que lo hace más adecuado para los agricultores pobres (Alderman y Haque 2007). El índice meteorológico se retrotrae a los cambios en la productividad agrícola y el pago de indemnizaciones se activa cuando el índice cae por debajo de cierto nivel. Por ejemplo, un periodo extendido de poca lluvia puede desencadenar un pago del seguro si existe una correlación previamente establecida entre los niveles registrados de baja lluvia y la pérdida de cultivos. Los índices de sequía (consulte el Capítulo 2), como el SPI simple o los indicadores compuestos más complejos, serían ideales para el seguro climático basado en índices para la sequía. Cualquier seguro basado en índices debe incluir un programa de supervisión para mitigar la probabilidad de resultados adversos mediante los cuales los pagos indemnizatorios son extremadamente insuficientes para cubrir las pérdidas. La capacidad de acceder a los mercados mundiales de seguros y transferir los riesgos asociados con eventos de baja probabilidad y altas consecuencias hace que el seguro de índice meteorológico sea potencialmente útil para gestionar el riesgo de sequía (Shiferaw et al. 2014).

El seguro de índices meteorológico también se puede utilizar para informar de los pagos entregados bajo modalidades de redes de seguridad social (Shiferaw et al. 2014). Las redes de seguridad social brindan apoyo a los medios de vida y garantizan la seguridad alimentaria en momentos de estrés. A menudo están dirigidos por la comunidad y distribuyen recursos entre los grupos más vulnerables y más afectados por los fenómenos meteorológicos extremos. El Banco Mundial ha establecido varios programas e iniciativas de riesgo compartido y redes de seguridad que brindan seguro a los agricultores afectados por la sequía.¹¹ Su *Programa de Desarrollo de Seguros Agrícolas y Mecanismo de Seguros del Índice Global* amplían el seguro agrícola para los agricultores que son vulnerables a eventos climáticos catastróficos. En India, el Banco Mundial ha desarrollado un innovador programa de seguro de cosechas que ha beneficiado a un millón de agricultores. Estos programas tienen muchos detalles técnicos, por lo que se debe contactar al Banco para una consulta.

¹¹ <http://www.worldbank.org/en/topic/agriculture/brief/reduce-risk-vulnerability-and-gender-inequality-in-agriculture>



5

RECOMENDACIONES

1. Sistemas de supervisión y alerta temprana de la sequía

Hay muchos índices e indicadores disponibles para la supervisión y el pronóstico de la sequía, y cada uno debe asociarse con los desencadenantes de respuesta apropiados a medida que las condiciones de sequía empeoran. Los indicadores y desencadenantes relevantes deben seleccionarse cuidadosamente. El trabajo de Steinemann et al. (Steinemann y Cavalcanti 2006, Steinemann et al. 2015) enumera directrices útiles para escoger indicadores y puntos de activación. Se deben consultar la Tabla 1 y el Manual de Indicadores e Índices de Sequía (World Meteorological Organization and Global Water Partnership 2016) para seleccionar los índices e indicadores apropiados. El Centro Nacional de Monitoreo de Sequía de EE. UU. ha desarrollado un sistema de supervisión y pronóstico de sequía de última generación, que debe usarse como plantilla para desarrollar nuevos sistemas de supervisión de sequía.

2. Evaluaciones del riesgo de sequía

La evaluación del riesgo de sequía proporciona información importante para ayudar a las autoridades a enfocar las acciones de prevención del riesgo de sequía, mitigación y respuesta a las crisis en aquellas comunidades vulnerables a la sequía, y en lugares donde las características de sequía son o se esperan que sean graves. Evaluar la vulnerabilidad es un componente central de la evaluación del riesgo. Una evaluación de vulnerabilidad debe basarse en un marco conceptual y debe rellenarse con datos e indicadores que describan los componentes biofísicos y socioeconómicos de la vulnerabilidad. Los indicadores de los sistemas de supervisión y alerta temprana de sequía y las evaluaciones de vulnerabilidad deben ser consistentes, de modo que la aparición de la sequía y el impacto en los sistemas vulnerables sean claros y se puedan reconocer pronto. La selección adecuada de indicadores, especialmente para la capacidad de adaptación, puede ilustrar la capacidad de las comunidades vulnerables para responder y adaptarse a los riesgos actuales y emergentes. La Tabla 4 debe usarse como punto de partida para seleccionar los indicadores que se utilizarán en la evaluación del riesgo de sequía. Los

indicadores globales de la Tabla 4 deben complementarse o intercambiarse con datos relevantes a nivel nacional y local, si están disponibles.

3. Identificar, probar e implementar acciones que mitiguen el riesgo de sequía

Las naciones, sectores y comunidades pueden usar muchas medidas estructurales (físicas) y no estructurales para reducir los impactos de la sequía. Se debe dar prioridad a las políticas y acciones que diversifican y modernizan la agricultura y las economías en general, fomentan la administración racional de los recursos de tierras y aguas, educan a las comunidades sobre el riesgo de sequía y desarrollan capacidades de adaptación. Hay muchas opciones específicas disponibles para cada sector económico vulnerable a la sequía con el fin aumentar la oferta y reducir la demanda de recursos hídricos (en función de diferentes niveles de activación), y gestionar mejor las tierras y la biodiversidad para mejorar la resiliencia ante la sequía. Son demasiadas opciones para enumerarlas aquí. Se recomiendan directrices específicas del sector para la GIRH, los niveles de activación de la sequía, la gestión de las tierras y la biodiversidad, la reducción de la exposición y una mayor resiliencia para los sectores más expuestos.

4. Distribución de riesgos

Existen varias herramientas innovadoras que protegen a las comunidades contra la sequía grave, que incluyen productos de seguros inteligentes (microseguros, reaseguros) y la expansión de grupos de riesgo a escalas nacionales, regionales y globales. Aunque el diseño y la implementación de estas herramientas son complejos, el seguro meteorológico basado en índices que utiliza índices de sequía es un enfoque intuitivo que también puede respaldar la distribución inteligente de los pagos de la red de seguridad social para asegurar los medios de vida y la seguridad alimentaria en tiempos de sequía. Si quiere obtener más información, puede consultar con el Banco Mundial, que cuenta con mucha información y estudios de casos de programas de seguros y riesgo compartido.



6

REFERENCIAS

- Adger, W. N. 2006. Vulnerability. *Global Environmental Change* 16:268-281.
- AghaKouchak, A. 2015. A multivariate approach for persistence-based drought prediction: Application to the 2010–2011 East Africa drought. *Journal of Hydrology* 526:127-135.
- Alam, K. 2015. Farmers' adaptation to water scarcity in drought-prone environments: A case study of Rajshahi District, Bangladesh. *Agricultural Water Management* 148:196-206.
- Alderman, H., and T. Haque. 2007. Insurance Against Covariate Shocks. The World Bank.
- Alley, W. M. 1984. The Palmer Drought Severity Index: Limitations and Assumptions. *Journal of Climate and Applied Meteorology* 23:1100-1109.
- Anderson, M. C., C. Hain, B. Wardlow, A. Pimstein, J. R. Mecikalski, and W. P. Kustas. 2010. Evaluation of Drought Indices Based on Thermal Remote Sensing of Evapotranspiration over the Continental United States. *Journal of Climate* 24:2025-2044.
- Bachmair, S., K. Stahl, K. Collins, J. Hannaford, M. Acreman, M. Svoboda, C. Knutson, K. H. Smith, N. Wall, B. Fuchs, N. D. Crossman, and I. C. Overton. 2016. Drought indicators revisited: the need for a wider consideration of environment and society. *Wiley Interdisciplinary Reviews-Water* 3:516-536.
- Bird, T. J., A. E. Bates, J. S. Lefcheck, N. A. Hill, R. J. Thomson, G. J. Edgar, R. D. Stuart-Smith, S. Wotherspoon, M. Krkosek, J. F. Stuart-Smith, G. T. Pecl, N. Barrett, and S. Frusher. 2014. Statistical solutions for error and bias in global citizen science datasets. *Biological Conservation* 173:144-154.
- Bonney, R., J. L. Shirk, T. B. Phillips, A. Wiggins, H. L. Ballard, A. J. Miller-Rushing, and J. K. Parrish. 2014. Next Steps for Citizen Science. *Science* 343:1436.
- Brown, J. F., B. D. Wardlow, T. Tadesse, M. J. Hayes, and 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.
- Byun, H.-R., and D. A. Wilhite. 1999. Objective Quantification of Drought Severity and Duration. *Journal of Climate* 12:2747-2756.
- Carrão, H., G. Naumann, and P. Barbosa. 2016. Mapping global patterns of drought risk: An empirical framework based on sub-national estimates of hazard, exposure and vulnerability. *Global Environmental Change* 39:108-124.
- Carter, C. A., F. Zhong, and J. Zhu. 2012. Advances in Chinese Agriculture and its Global Implications. *Applied Economic Perspectives and Policy* 34:1-36.
- Chandrasekar, K., M. V. R. Sesha Sai, P. S. Roy, and 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.
- Coates, D., and M. Smith. 2012. Natural infrastructure solutions for water security. Pages 167-188 in R. Ardakanian and D. Jaeger, editors. *Water and the Green Economy – Capacity Development Aspects*. UN-Water Decade Programme on Capacity Development, Bonn, Germany.
- Collier, P., and S. Dercon. 2014. African Agriculture in 50 Years: Smallholders in a Rapidly Changing World? *World Development* 63:92-101.

- Corbeels, M., J. de Graaff, T. H. Ndah, E. Penot, F. Baudron, K. Naudin, N. Andrieu, G. Chirat, J. Schuler, I. Nyagumbo, L. Rusinamhodzi, K. Traore, H. D. Mzoba, and I. S. Adolwa. 2014. Understanding the impact and adoption of conservation agriculture in Africa: A multi-scale analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 187:155-170.
- Crain, R., C. Cooper, and J. L. Dickinson. 2014. Citizen Science: A Tool for Integrating Studies of Human and Natural Systems. *Annual Review of Environment and Resources* 39:641-665.
- Crossman, N. D. 2017. Drought Resilience, Adaptation and Management Policy (DRAMP) Framework., UNCCD, Bonn.
- Deininger, K., S. Jin, F. Xia, and J. Huang. 2014. Moving Off the Farm: Land Institutions to Facilitate Structural Transformation and Agricultural Productivity Growth in China. *World Development* 59:505-520.
- Dile, Y. T., L. Karlberg, M. Temesgen, and J. Rockström. 2013. The role of water harvesting to achieve sustainable agricultural intensification and resilience against water related shocks in sub-Saharan Africa. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 181:69-79.
- Dogan, S., A. Berktaş, and V. P. Singh. 2012. Comparison of multi-monthly rainfall-based drought severity indices, with application to semi-arid Konya closed basin, Turkey. *Journal of Hydrology* 470-471:255-268.
- Eriksen, S. H., and P. M. Kelly. 2007. Developing Credible Vulnerability Indicators for Climate Adaptation Policy Assessment. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 12:495-524.
- Fluixá-Sanmartín, J., D. Pan, L. Fischer, B. Orlowsky, J. García-Hernández, F. Jordan, C. Haemmig, F. Zhang, and J. Xu. 2018. Searching for the optimal drought index and timescale combination to detect drought: a case study from the lower Jinsha River basin, China. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 22:889-910.
- Füssel, H.-M., and R. J. T. Klein. 2006. Climate Change Vulnerability Assessments: An Evolution of Conceptual Thinking. *Climatic Change* 75:301-329.
- Ganapuram, S., N. Nagarajan, and V. Balaji. 2013. Village-level Drought Vulnerability Assessment Using Geographic Information System (GIS). *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering* 3:1-10.
- Gbetibouo, G. A., C. Ringler, and R. Hassan. 2010. Vulnerability of the South African farming sector to climate change and variability: An indicator approach. *Natural Resources Forum* 34:175-187.
- Gibbs, W. J., and J. V. Maher. 1967. Rainfall Deciles as Drought Indicators. Bureau of Meteorology Bulletin No. 48. Bureau of Meteorology, Melbourne, Australia.
- Global Water Partnership Eastern Africa. 2016. Building resilience to drought: Learning from experience in the Horn of Africa. Integrated Drought Management Programme in the Horn of Africa. Entebbe, Uganda.
- Goldman, M. J., and F. Riosmena. 2013. Adaptive capacity in Tanzanian Maasailand: Changing strategies to cope with drought in fragmented landscapes. *Global Environmental Change* 23:588-597.
- Gommes, R., R. Balaghi, A. Challinor, H. P. Das, M. A. A. Dawod, L. Mariani, and B. Tychon. 2010. Agrometeorological Forecasting. in WMO, editor. *Guide to Agricultural Meteorological Practices*. WMO, Geneva.
- González Tánago, I., J. Urquijo, V. Blauhut, F. Villarroya, and L. De Stefano. 2016. Learning from experience: a systematic review of assessments of vulnerability to drought. *Natural Hazards* 80:951-973.
- Grasso, V. F. n.d. Early Warning Systems: State-of-Art Analysis and Future Directions. Draft Report. United Nations Environment Program.
- Guttman, N. B. 1999. Accepting the standardized precipitation index: A calculation algorithm. *Journal of the American Water Resources Association* 35:311-322.
- Hao, Z., and A. AghaKouchak. 2013. Multivariate Standardized Drought Index: A parametric multi-index model. *Advances in Water Resources* 57:12-18.
- Hao, Z., A. AghaKouchak, N. Nakhjiri, and A. Farahmand. 2014. Global integrated drought monitoring and prediction system. *Scientific Data* 1:140001.
- Hayes, M., M. Svoboda, N. Wall, and M. Widhalm. 2010. The Lincoln Declaration on Drought Indices: Universal Meteorological Drought Index Recommended. *Bulletin of the American Meteorological Society* 92:485-488.
- Hayes, M. J. 2005. Drought Indices. *Van Nostrand's Scientific Encyclopedia*. John Wiley & Sons, Inc.
- 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.

- Huete, A., K. Didan, T. Miura, E. P. Rodriguez, X. Gao, and L. G. Ferreira. 2002. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment* 83:195-213.
- IPCC. 2012. Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) [Field, C. B., 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, and P. M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- IPCC. 2014. Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Jacobi, J., D. Perrone, L. L. Duncan, and G. Hornberger. 2013. A tool for calculating the Palmer drought indices. *Water Resources Research* 49:6086-6089.
- Jain, V. K., R. P. Pandey, M. K. Jain, and H.-R. Byun. 2015. Comparison of drought indices for appraisal of drought characteristics in the Ken River Basin. *Weather and Climate Extremes* 8:1-11.
- Keetch, J. J., and 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.
- Keyantash, J., and J. A. Dracup. 2002. The Quantification of Drought: An Evaluation of Drought Indices. *Bulletin of the American Meteorological Society* 83:1167-1180.
- Kim, H., J. Park, J. Yoo, and T.-W. Kim. 2015. Assessment of drought hazard, vulnerability, and risk: A case study for administrative districts in South Korea. *Journal of Hydro-environment Research* 9:28-35.
- Kogan, F. N. 1995. Application of vegetation index and brightness temperature for drought detection. *Advances in Space Research* 15:91-100.
- Kogan, F. N. 2001. Operational Space Technology for Global Vegetation Assessment. *Bulletin of the American Meteorological Society* 82:1949-1964.
- Lal, R. 2004. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. *Geoderma* 123:1-22.
- Lebel, S., L. Fleskens, P. M. Forster, L. S. Jackson, and S. Lorenz. 2015. Evaluation of In Situ Rainwater Harvesting as an Adaptation Strategy to Climate Change for Maize Production in Rainfed Africa. *Water Resources Management* 29:4803-4816.
- Lei, Y., J. a. Wang, Y. Yue, Y. Yin, and Z. Sheng. 2014. How adjustments in land use patterns contribute to drought risk adaptation in a changing climate—A case study in China. *Land Use Policy* 36:577-584.
- Lei, Y., H. Zhang, F. Chen, and L. Zhang. 2016. How rural land use management facilitates drought risk adaptation in a changing climate — A case study in arid northern China. *Science of the Total Environment* 550:192-199.
- Lipper, L., P. Thornton, B. M. Campbell, T. Baedeker, A. Braimoh, M. Bwalya, P. Caron, A. Cattaneo, D. Garrity, K. Henry, R. Hottle, L. Jackson, A. Jarvis, F. Kossam, W. Mann, N. McCarthy, A. Meybeck, H. Neufeldt, T. Remington, P. T. Sen, R. Sessa, R. Shula, A. Tibu, and E. F. Torquebiau. 2014. Climate-smart agriculture for food security. *Nature Clim. Change* 4:1068-1072.
- Liu, W. T., and F. N. Kogan. 1996. Monitoring regional drought using the Vegetation Condition Index. *International Journal of Remote Sensing* 17:2761-2782.
- Logar, I., and J. C. J. M. van den Bergh. 2013. Methods to Assess Costs of Drought Damages and Policies for Drought Mitigation and Adaptation: Review and Recommendations. *Water Resources Management* 27:1707-1720.
- Lyon, B. 2004. The strength of El Niño and the spatial extent of tropical drought. *Geophysical Research Letters* 31:n/a-n/a.
- McNeeley, S. M., T. A. Beeton, and D. S. Ojima. 2016. Drought Risk and Adaptation in the Interior United States: Understanding the Importance of Local Context for Resource Management in Times of Drought. *Weather, Climate, and Society* 8:147-161.
- Mehran, A., O. Mazdiyasn, and A. AghaKouchak. 2015. A hybrid framework for assessing socioeconomic drought: Linking climate variability, local resilience, and demand. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 120:7520-7533.
- Modarres, R. 2007. Streamflow drought time series forecasting. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment* 21:223-233.
- Mwenge Kahinda, J., A. E. Taigbenu, and R. J. Boroto. 2010. Domestic rainwater harvesting as an adaptation measure to climate change in South Africa. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C* 35:742-751.

- Nalbantis, I., and G. Tsakiris. 2009. Assessment of Hydrological Drought Revisited. *Water Resources Management* 23:881-897.
- Naumann, G., P. Barbosa, L. Garrote, A. Iglesias, and J. Vogt. 2014. Exploring drought vulnerability in Africa: an indicator based analysis to be used in early warning systems. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 18:1591-1604.
- Nijssen, B., S. Shukla, C. Lin, H. Gao, T. Zhou, Ishottama, J. Sheffield, E. F. Wood, and D. P. Lettenmaier. 2014. A Prototype Global Drought Information System Based on Multiple Land Surface Models. *Journal of Hydrometeorology* 15:1661-1676.
- O'Brien, R. M. 2007. A Caution Regarding Rules of Thumb for Variance Inflation Factors. *Quality & Quantity* 41:673-690.
- Opiyo, F., O. Wasonga, M. Nyangito, J. Schilling, and R. Munang. 2015. Drought Adaptation and Coping Strategies Among the Turkana Pastoralists of Northern Kenya. *International Journal of Disaster Risk Science* 6:295-309.
- Palmer, W. C. 1968. Keeping Track of Crop Moisture Conditions, Nationwide: The New Crop Moisture Index. *Weatherwise* 21:156-161.
- Pew Research Center. 2015. Cell Phones in Africa: Communication Lifeline.
- Pingali, P. L. 1997. From Subsistence to Commercial Production Systems: The Transformation of Asian Agriculture. *American Journal of Agricultural Economics* 79:628-634.
- Rodell, M., P. R. Houser, U. Jambor, J. Gottschalck, K. Mitchell, C. J. Meng, K. Arsenault, B. Cosgrove, J. Radakovich, M. Bosilovich, J. K. Entin*, J. P. Walker, D. Lohmann, and D. Toll. 2004. The Global Land Data Assimilation System. *Bulletin of the American Meteorological Society* 85:381-394.
- Scaini, A., N. Sánchez, S. M. Vicente-Serrano, and J. Martínez-Fernández. 2015. SMOS-derived soil moisture anomalies and drought indices: a comparative analysis using in situ measurements. *Hydrological Processes* 29:373-383.
- Sepulcre-Canto, G., S. Horion, A. Singleton, H. Carrao, and J. Vogt. 2012. Development of a Combined Drought Indicator to detect agricultural drought in Europe. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 12:3519-3531.
- Sheffield, J., and E. F. Wood. 2008. Projected changes in drought occurrence under future global warming from multi-model, multi-scenario, IPCC AR4 simulations. *Climate Dynamics* 31:79-105.
- Sheffield, J., E. F. Wood, N. Chaney, K. Guan, S. Sadri, X. Yuan, L. Olang, A. Amani, A. Ali, S. Demuth, and L. Ogallo. 2013. A Drought Monitoring and Forecasting System for Sub-Sahara African Water Resources and Food Security. *Bulletin of the American Meteorological Society* 95:861-882.
- Shiferaw, B., K. Tesfaye, M. Kassie, T. Abate, B. M. Prasanna, and A. Menkir. 2014. Managing vulnerability to drought and enhancing livelihood resilience in sub-Saharan Africa: Technological, institutional and policy options. *Weather and Climate Extremes* 3:67-79.
- Steinemann, A., S. F. Iacobellis, and D. R. Cayan. 2015. Developing and Evaluating Drought Indicators for Decision-Making. *Journal of Hydrometeorology* 16:1793-1803.
- Steinemann, A. C., and L. F. N. Cavalcanti. 2006. Developing Multiple Indicators and Triggers for Drought Plans. *Journal of Water Resources Planning and Management* 132:164-174.
- Stringer, L. C., J. C. Dyer, M. S. Reed, A. J. Dougill, C. Twyman, and D. Mkwambisi. 2009. Adaptations to climate change, drought and desertification: local insights to enhance policy in southern Africa. *Environmental Science & Policy* 12:748-765.
- Svoboda, M., D. LeComte, M. Hayes, R. Heim, K. Gleason, J. Angel, B. Rippey, R. Tinker, M. Palecki, D. Stooksbury, D. Miskus, and S. Stephens. 2002. The Drought Monitor. *Bulletin of the American Meteorological Society* 83:1181-1190.
- Tadesse, T. 2016. Strategic Framework for Drought Management and Enhancing Resilience in Africa. Draft White Paper. National Drought Mitigation Center, Nebraska, USA.
- Taschetto, A. S., A. S. Gupta, C. C. Ummenhofer, and M. H. England. 2016. Can Australian Multiyear Droughts and Wet Spells Be Generated in the Absence of Oceanic Variability? *Journal of Climate* 29:6201-6221.
- Telesca, L., M. Lovallo, I. Lopez-Moreno, and S. Vicente-Serrano. 2012. Investigation of scaling properties in monthly streamflow and Standardized Streamflow Index (SSI) time series in the Ebro basin (Spain). *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications* 391:1662-1678.

- Tsegai, D., J. Liebe, and R. Ardakanian. 2015. Capacity Development to Support National Drought Management Policies: Synthesis. UNW-DPC, Bonn, Germany.
- UNCCD, FAO, and WMO. 2013. High Level Meeting on National Drought Policy (HMNDP). Science Document: Best Practices on National Drought Management Policy. UNCCD, FAO, WMO, Geneva.
- UNISDR. 2015. Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015 - 2030.
- Van Loon, A. F. 2015. Hydrological drought explained. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water* 2:359-392.
- Van Loon, A. F., T. Gleeson, J. Clark, A. I. J. M. Van Dijk, K. Stahl, J. Hannaford, G. Di Baldassarre, A. J. Teuling, L. M. Tallaksen, R. Uijlenhoet, D. M. Hannah, J. Sheffield, M. Svoboda, B. Verbeiren, T. Wagener, S. Rangelcroft, N. Wanders, and H. A. J. Van Lanen. 2016. Drought in the Anthropocene. *Nature Geosci* 9:89-91.
- Van Loon, A. F., and G. Laaha. 2015. Hydrological drought severity explained by climate and catchment characteristics. *Journal of Hydrology* 526:3-14.
- Verdin, J., and R. Klaver. 2002. Grid-cell-based crop water accounting for the famine early warning system. *Hydrological Processes* 16:1617-1630.
- Vicente-Serrano, S. M., S. Beguería, and J. I. López-Moreno. 2009. A Multiscalar Drought Index Sensitive to Global Warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index. *Journal of Climate* 23:1696-1718.
- Vicente-Serrano, S. M., S. Beguería, J. Lorenzo-Lacruz, J. J. Camarero, J. I. López-Moreno, C. Azorin-Molina, J. Revuelto, E. Morán-Tejeda, and A. Sanchez-Lorenzo. 2012. Performance of Drought Indices for Ecological, Agricultural, and Hydrological Applications. *Earth Interactions* 16:1-27.
- Wang, H., J. C. Rogers, and D. K. Munroe. 2015. Commonly Used Drought Indices as Indicators of Soil Moisture in China. *Journal of Hydrometeorology* 16:1397-1408.
- Wilhelmi, O. V., and D. A. Wilhite. 2002. Assessing Vulnerability to Agricultural Drought: A Nebraska Case Study. *Natural Hazards* 25:37-58.
- Wilhite, D. A., and M. H. Glantz. 1985. Understanding: the Drought Phenomenon: The Role of Definitions. *Water International* 10:111-120.
- Windhoek Declaration. 2016. The Windhoek Declaration for Enhancing Resilience to Drought in Africa. Namibia.
- Wiréhn, L., Å. Danielsson, and T.-S. S. Neset. 2015. Assessment of composite index methods for agricultural vulnerability to climate change. *Journal of Environmental Management* 156:70-80.
- Wood, E. F., S. D. Schubert, A. W. Wood, C. D. Peters-Lidard, K. C. Mo, A. Mariotti, and R. S. Pulwarty. 2015. Prospects for Advancing Drought Understanding, Monitoring, and Prediction. *Journal of Hydrometeorology* 16:1636-1657.
- World Meteorological Organization. 2012. Standardized Precipitation Index User Guide. World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland.
- World Meteorological Organization (WMO) and Global Water Partnership (GWP). 2014. National Drought Management Policy Guidelines: A Template for Action (D.A. Wilhite). Integrated Drought Management Programme (IDMP) Tools and Guidelines Series 1. WMO, Geneva, Switzerland and GWP, Stockholm, Sweden.
- World Meteorological Organization and Global Water Partnership. 2016. Handbook of Drought Indicators and Indices (M. Svoboda and B.A. Fuchs). Integrated Drought Management Programme (IDMP), Integrated Drought Management Tools and Guidelines Series 2. WMO, Geneva, Switzerland and GWP, Stockholm, Sweden.
- Zargar, A., R. Sadiq, B. Naser, and F. I. Khan. 2011. A review of drought indices. *Environmental Reviews* 19:333-349.



United Nations

Convention to Combat
Desertification

Convención de las Naciones Unidas de
Lucha contra la Desertificación (CNULD)

UN Campus Platz der Vereinten Nationen 1
53113 Bonn Alemania
www.unccd.int