

Guía sobre índices e indicadores de sequía utilizados en América del Norte



Mayo 2021

Citar como:

CCA (2021), *Guía sobre índices e indicadores de sequía utilizados en América del Norte*, Comisión para la Cooperación Ambiental, Montreal, Canadá, 81 pp.

La presente publicación fue elaborada por Ernest W. T. Cooper, Alejandra Peña y Max Winpenny, de la organización de consultoría ambiental E. Cooper Environmental Consulting, para el Secretariado de la Comisión para la Cooperación Ambiental. La información que contiene es responsabilidad de los autores y no necesariamente refleja los puntos de vista de la CCA o de los gobiernos de Canadá, Estados Unidos o México.

Se permite la reproducción completa o parcial de este documento y en cualquier forma, sin autorización especial previa del Secretariado de la CCA, siempre y cuando se haga con absoluta precisión, su uso sea con fines educativos y no comerciales y se cite debidamente la fuente, con el correspondiente crédito a la Comisión para la Cooperación Ambiental. La CCA apreciará que se le envíe una copia de toda publicación o material que utilice este trabajo como fuente.

A menos que se indique lo contrario, el presente documento está protegido mediante licencia de tipo "Reconocimiento – No comercial – Sin obra derivada", de Creative Commons.



© Comisión para la Cooperación Ambiental, 2021

ISBN: ISBN: 978-2-89700-298-5

Disponible en français – ISBN: ISBN: 978-2-89700-297-8

Available in English – ISBN: 978-2-89700-296-1

Depósito legal: *Bibliothèque et Archives nationales du Québec*, 2021

Depósito legal: Library and Archives Canada, 2021

Particularidades de la publicación

Tipo: Publicación de proyecto

Fecha de publicación: mayo de 2021

Idioma original: inglés

Procedimientos de revisión y aseguramiento de la calidad:

Revisión final de las Partes: abril 2021

QA21.360

Proyecto: Plan Operativo 2019-2020 / *Mejoramiento de la eficacia de los sistemas de alerta temprana en casos de sequía*

Si desea más información sobre ésta y otras publicaciones de la CCA, diríjase a:

Comisión para la Cooperación Ambiental

700 rue de la Gauchetière Ouest, bureau 1620

Montreal (Quebec), Canadá, H3B 5M2

Tel.: 514.350.4300 fax: 514.350.4314

info@cec.org / www.cec.org



Índice

| | |
|--|-----|
| Siglas, acrónimos y abreviaturas | vii |
| Sinopsis | vii |
| Resumen ejecutivo | ix |
| Prefacio | xii |
| Agradecimientos | xii |
| Introducción | 1 |
| Métodos | 2 |
| Participantes en el cuestionario | 5 |
| Indicadores de sequía por grupo climático | 8 |
| Grupo A: Climas tropicales en la clasificación climática de Köppen | 8 |
| Grupo B: Climas secos (desérticos y semiáridos) en la clasificación climática de Köppen..... | 16 |
| Grupo C: Climas templados en la clasificación climática de Köppen..... | 24 |
| Grupo D: Climas continentales en la clasificación climática de Köppen..... | 36 |
| Grupo E: Climas polares en la clasificación climática de Köppen..... | 48 |
| Sequía en América del Norte | 55 |
| Bibliografía | 63 |
| Apéndice A. Clasificación climática de Köppen | 64 |
| Apéndice B. Índices e indicadores | 65 |
| Apéndice C. Preguntas del cuestionario | 68 |

Lista de cuadros

| | |
|---|----|
| Cuadro 1. Funciones de los participantes en relación con la sequía..... | 5 |
| Cuadro 2. Actividades de los participantes relacionadas con la sequía..... | 6 |
| Cuadro 3. Participantes en el cuestionario que trabajan activamente en climas tropicales, por país..... | 10 |
| Cuadro 4. Ocurrencia de sequía en climas tropicales, en los últimos diez años..... | 11 |
| Cuadro 5. Frecuencia de eventos de sequía en climas tropicales | 11 |
| Cuadro 6. Duración de la sequía típica en climas tropicales | 11 |
| Cuadro 7. Factores que influyen en la elección de índices e indicadores en climas tropicales..... | 12 |
| Cuadro 8. Desempeño de los indicadores en <i>toda</i> el área geográfica de interés en climas tropicales | 12 |
| Cuadro 9. Desempeño de los indicadores en distintas temporadas en climas tropicales... | 12 |
| Cuadro 10. Índices e indicadores más eficaces para sequía en climas tropicales..... | 14 |
| Cuadro 11. Índices e indicadores <i>no</i> incluidos en el manual de la OMM de mayor eficacia para el monitoreo de sequías en climas tropicales..... | 14 |
| Cuadro 12. Participantes en el cuestionario que trabajan activamente en climas secos, por país..... | 19 |
| Cuadro 13. Ocurrencia de sequía en climas secos, en los últimos diez años..... | 19 |
| Cuadro 14. Frecuencia de eventos de sequía en climas secos | 19 |
| Cuadro 15. Duración de la sequía típica en climas secos | 19 |
| Cuadro 16. Factores que influyen en la elección de índices e indicadores en climas secos.... | 20 |
| Cuadro 17. Desempeño de los indicadores en <i>toda</i> el área geográfica de interés en climas secos | 20 |
| Cuadro 18. Desempeño de los indicadores en distintas temporadas en climas secos..... | 21 |
| Cuadro 19. Índices e indicadores más eficaces para sequía en climas secos..... | 21 |
| Cuadro 20. Índices e indicadores <i>no</i> incluidos en el manual de la OMM e mayor eficacia para el monitoreo de sequías en climas secos | 23 |
| Cuadro 21. Participantes en el cuestionario que trabajan activamente en climas templados, por país..... | 28 |
| Cuadro 22. Ocurrencia de sequía en climas templados, en los últimos diez años..... | 28 |
| Cuadro 23. Frecuencia de eventos de sequía en climas templados..... | 28 |
| Cuadro 24. Duración de la sequía típica en climas templados | 29 |
| Cuadro 25. Factores que influyen en la elección de índices e indicadores en climas templados..... | 30 |
| Cuadro 26. Desempeño de los indicadores en <i>toda</i> el área geográfica de interés en climas templados..... | 30 |
| Cuadro 27. Desempeño de los indicadores en distintas temporadas en climas templados | 31 |
| Cuadro 28. Índices e indicadores de mayor eficacia para sequías de corto plazo en climas templados..... | 32 |
| Cuadro 29. Índices e indicadores más eficaces para sequía de largo plazo en climas templados | 34 |

| | |
|--|----|
| Cuadro 30. Índices e indicadores <i>no</i> incluidos en el manual de la OMM de mayor eficacia para el monitoreo de sequías en climas templados..... | 35 |
| Cuadro 31. Participantes en el cuestionario que trabajan activamente en climas continentales, por país..... | 40 |
| Cuadro 32. Ocurrencia de sequía en climas continentales, en los últimos diez años | 40 |
| Cuadro 33. Frecuencia de eventos de sequía en climas continentales | 41 |
| Cuadro 34. Duración de la sequía típica en climas continentales..... | 41 |
| Cuadro 35. Factores que influyen en la elección de índices e indicadores en climas continentales..... | 42 |
| Cuadro 36. Desempeño de los indicadores en <i>toda</i> el área geográfica de interés en climas continentales..... | 43 |
| Cuadro 37. Desempeño de los indicadores en distintas temporadas en climas continentales.. | 43 |
| Cuadro 38. Índices e indicadores más eficaces para sequías en climas continentales..... | 45 |
| Cuadro 39. Índices e indicadores <i>no</i> incluidos en el manual de la OMM de mayor eficacia para el monitoreo de sequías en climas continentales | 46 |
| Cuadro 40. Participantes en el cuestionario que trabajan activamente en climas polares, por país | 51 |
| Cuadro 41. Ocurrencia de sequía en climas polares, en los últimos diez años..... | 51 |
| Cuadro 42. Frecuencia de eventos de sequía en climas polares | 51 |
| Cuadro 43. Duración de la sequía típica en climas polares | 51 |
| Cuadro 44. Factores que influyen en la elección de índices e indicadores en climas polares | 52 |
| Cuadro 45. Desempeño de los indicadores en <i>toda</i> el área geográfica de interés en climas polares | 52 |
| Cuadro 46. Desempeño de los indicadores en distintas temporadas en climas polares..... | 52 |
| Cuadro 47. Índices e indicadores más eficaces para sequías en climas polares | 53 |
| Cuadro 48. Índices e indicadores <i>no</i> incluidos en el manual de la OMM de mayor eficacia para el monitoreo de sequías en climas polares..... | 54 |
| Cuadro 49. Ocurrencia de sequía en América del Norte, en los últimos diez años | 58 |
| Cuadro 50. Frecuencia de eventos de sequía en América del Norte..... | 59 |
| Cuadro 51. Duración de la sequía típica en América del Norte..... | 59 |
| Cuadro 52. Factores que influyen en la elección de índices e indicadores en América del Norte..... | 60 |
| Cuadro 53. Desempeño de los indicadores en <i>toda</i> el área geográfica de interés en América del Norte | 60 |
| Cuadro 54. Desempeño de los indicadores en distintas temporadas en América del Norte | 60 |

Lista de gráficas

| | |
|--|----|
| Gráfica 1. Funciones de los participantes en relación con la sequía, en porcentajes..... | 6 |
| Gráfica 2. Actividades de los participantes relacionadas con la sequía, en porcentajes..... | 7 |
| Gráfica 3. Distribución de climas tropicales en América del Norte | 10 |
| Gráfica 4. Duración de la sequía típica en climas tropicales: comparación entre corto y largo plazos..... | 11 |
| Gráfica 5. ¿Se desempeñan los indicadores con la misma eficacia en distintas áreas geográficas en climas tropicales? | 13 |
| Gráfica 6. ¿Se desempeñan los indicadores con la misma eficacia en distintas temporadas en climas tropicales?..... | 13 |
| Gráfica 7. Distribución de climas secos en América del Norte | 18 |
| Gráfica 8. Duración de la sequía típica en climas secos: comparación entre corto y largo plazos..... | 20 |
| Gráfica 9. ¿Se desempeñan los indicadores con la misma eficacia en distintas áreas geográficas en climas secos? | 22 |
| Gráfica 10. ¿Se desempeñan los indicadores con la misma eficacia en distintas temporadas en climas secos? | 22 |
| Gráfica 11. Distribución de climas templados en América del Norte | 27 |
| Gráfica 12. Duración de la sequía típica en climas templados: comparación entre corto y largo plazos | 29 |
| Gráfica 13. ¿Se desempeñan los indicadores con la misma eficacia en distintas áreas geográficas en climas templados?..... | 31 |
| Gráfica 14. ¿Se desempeñan los indicadores con la misma eficacia en distintas temporadas en climas templados?..... | 32 |
| Gráfica 15. Distribución de climas continentales en América del Norte..... | 39 |
| Gráfica 16. Duración de la sequía típica en climas continentales: comparación entre corto y largo plazos | 42 |
| Gráfica 17. ¿Se desempeñan los indicadores con la misma eficacia en distintas áreas geográficas en climas continentales?..... | 44 |
| Gráfica 18. ¿Se desempeñan los indicadores con la misma eficacia en distintas temporadas en climas continentales?..... | 45 |
| Gráfica 19. Distribución de climas polares en América del Norte | 50 |
| Gráfica 20. Duración de la sequía típica en América del Norte: comparación entre corto y largo plazos | 59 |
| Gráfica 21. ¿Se desempeñan los indicadores con la misma eficacia en distintas áreas geográficas de responsabilidad, por zona climática?..... | 61 |
| Gráfica 22. ¿Se desempeñan los indicadores con la misma eficacia en distintas temporadas, por zona climática? | 62 |

Siglas, acrónimos y abreviaturas

| | |
|------|--|
| CCA | Comisión para la Cooperación Ambiental |
| CMI | Índice de Humedad de los Cultivos (<i>Crop Moisture Index</i>) |
| CRED | Centro de Investigación sobre Epidemiología de los Desastres (<i>Centre for Research on the Epidemiology of Disasters</i>) |
| ESI | Índice de Estrés por Evaporación (<i>Evaporative Stress Index</i>) |
| EVI | Índice Mejorado de Vegetación (<i>Enhanced Vegetation Index</i>) |
| GWP | Asociación Mundial para el Agua (<i>Global Water Partnership</i>) |
| NDVI | Índice Diferencial Normalizado de Vegetación (<i>Normalized Difference Vegetation Index</i>) |
| OMM | Organización Meteorológica Mundial |
| PNP | porcentaje de precipitación habitual (del inglés: <i>percent of normal precipitation</i>) |
| SMDI | Índice del Déficit de Humedad del Suelo (<i>Soil Moisture Deficit Index</i>) |
| SMA | Anomalía de la humedad del suelo (del inglés: <i>soil moisture anomaly</i>) |
| SPEI | Índice Estandarizado de Precipitación y Evapotranspiración (<i>Standardized Precipitation Evapotranspiration Index</i>) |
| SPI | Índice Estandarizado de Precipitación (<i>Standardized Precipitation Index</i>) |
| USDМ | Monitor de Sequía de Estados Unidos (<i>United States Drought Monitor</i>) |

Sinopsis

El presente estudio tuvo por objetivo aumentar la capacidad de responsables de la toma de decisiones y comunidades en los ámbitos regional y local para monitorear condiciones de sequía y prepararse ante episodios del fenómeno, mediante la elaboración de una guía que facilita el uso de indicadores de pertinencia local para las distintas regiones climáticas en América del Norte. La información se recopiló por medio de un cuestionario en línea consistente en una serie de preguntas sobre las experiencias de los participantes en el estudio con la sequía en sus respectivas áreas geográficas. Asimismo, a partir de una serie de preguntas clave se indagó sobre la eficacia de distintos indicadores de sequía. Con base en las respuestas obtenidas, se llevó a cabo un análisis con miras a determinar los indicadores de sequía más eficaces para eventos de corto y largo plazo en zonas climáticas específicas (clasificadas conforme al sistema Köppen) en América del Norte. Además, se llevaron a cabo seminarios web en línea, en inglés y español, que aportaron información adicional.

Casi todos los participantes indicaron que las áreas a su cargo habían experimentado sequía en los últimos diez años, y la mayoría indicó que, en general, los episodios habían tenido una duración de menos de seis meses. Para la mayor parte de las zonas climáticas, las respuestas apuntaron a un desempeño disparado de los indicadores entre las distintas áreas geográficas o entre una temporada del año y otra. La humedad del suelo fue el único indicador que se consideró muy eficaz en todas las zonas climáticas de interés, mientras que otros seis indicadores resultaron sumamente eficaces, pero no en todos los casos: porcentaje de precipitación habitual (PNP, por sus siglas en inglés), Índice Estandarizado de Precipitación y Evapotranspiración (*Standardized Precipitation Evapotranspiration Index*, SPEI), Índice Estandarizado de Precipitación (*Standardized Precipitation Index*, SPI), estado de los cultivos, niveles de almacenamiento de embalses y Monitor de Sequía de Estados Unidos (*United States Drought Monitor*, USDМ).

La información reunida sobre la eficacia de los indicadores de sequía se compiló en una serie de cuadros y gráficas que sirven de guía informal a los indicadores de mayor pertinencia para el monitoreo de sequías en distintas zonas climáticas en América del Norte.

Resumen ejecutivo

En 2016, la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y la Asociación Mundial para el Agua (*Global Water Partnership*, GWP) publicaron conjuntamente el *Manual de indicadores e índices de sequía*, cuyo objetivo es servir de referencia para los indicadores de sequía más comunes utilizados en regiones propensas a este fenómeno en todo el mundo. El presente documento busca complementar el manual de la OMM al ofrecer una guía informal sobre qué indicadores e índices tienen un mejor desempeño para el monitoreo de la sequía en América del Norte. El objetivo es mejorar la capacidad de responsables de la toma de decisiones y comunidades en los ámbitos regional y local para monitorear y prepararse para condiciones de sequía en Canadá, Estados Unidos y México. Este informe centra su atención en los indicadores incluidos en el manual de la OMM, junto con 21 indicadores adicionales no contemplados originalmente en dicho instrumento.

La orientación que se ofrece en el presente informe se basa en las opiniones recabadas entre profesionales dedicados a la sequía en los tres países de América del Norte, obtenidas mediante un cuestionario en línea, complementado por una serie de sesiones consultivas efectuadas en el marco de dos seminarios web vía internet.

Participantes en el cuestionario

De las 145 personas que contestaron el cuestionario, 84 trabajan en Estados Unidos, 33 en Canadá y 28 en México. La mayoría de ellas indicó pasar al menos 10 por ciento de su tiempo en actividades relacionadas con monitoreo de sequía, comunicación, mitigación de amenazas o resiliencia frente a desastres, planificación medioambiental y de recursos naturales, investigaciones de índole gubernamental y otras tareas de planificación integral o a largo plazo.

Uso de indicadores de sequía en América del Norte

Varios de los participantes en el cuestionario comentaron que uno de los principales factores al elegir indicadores corresponde a su especificidad con respecto a la ubicación, y también mencionaron la conveniencia de poder correlacionar el indicador seleccionado con las condiciones reales en campo. En la mayoría de las respuestas se señaló que los indicadores no necesariamente presentan la misma eficacia por cuanto a desempeño en las respectivas áreas geográficas de responsabilidad o entre una temporada del año y otra. La disponibilidad de datos fue uno de los puntos que los encuestados mencionaron con mayor frecuencia como una de las barreras para determinar la eficacia de ciertos indicadores.

Si bien los participantes en el estudio coincidieron en que la mayoría de los indicadores incluidos en el manual de la OMM no eran muy eficaces para la mayoría de las zonas climáticas en América del Norte, cuatro de dichos indicadores se consideraron muy eficaces en la mayoría de los casos, pero no en todas las zonas climáticas, para sequía de corto y largo plazos, a saber: porcentaje de precipitación habitual (PNP, por sus siglas en inglés), Índice Estandarizado de Precipitación y Evapotranspiración (*Standardized Precipitation Evapotranspiration Index*, SPEI), Índice Estandarizado de Precipitación (*Standardized Precipitation Index*, SPI) y Monitor de Sequía de Estados Unidos (*United States Drought Monitor*, USDM). En opinión de los encuestados, el SPI y el USDM pueden considerarse los más eficaces a escala regional.

Los participantes en el cuestionario calificaron trece indicadores no incluidos en el manual de la OMM como muy eficaces para la mayoría de las zonas climáticas; de éstos, la humedad del suelo fue el único calificado como muy eficaz para *todas* las zonas climáticas en América del Norte, en tanto que otros dos —estado de los cultivos y niveles de almacenamiento de embalses— fueron calificados como muy eficaces para 33 de las 34 zonas climáticas.

Grupo A: Climas tropicales en la clasificación climática de Köppen

En América del Norte, el grupo climático A, de acuerdo con la clasificación de Köppen, comprende las áreas costeras de México, el sur de Florida y las Islas Vírgenes de Estados Unidos. Tres indicadores de sequía se calificaron como muy eficaces para episodios tanto de corto como de largo plazo en zonas climáticas tropicales: el PNP, el SPI y el USDM. Los participantes en el cuestionario calificaron nueve indicadores de sequía no incluidos en el manual de la OMM como muy eficaces para el monitoreo de sequía en todas las zonas climáticas tropicales. En la gran mayoría de las respuestas, el grado de verdor de la vegetación y la humedad del suelo se calificaron como indicadores muy eficaces.

Grupo B: Climas secos (desérticos y semiáridos) en la clasificación climática de Köppen

En América del Norte, el grupo climático B en la clasificación de Köppen es muy extenso: abarca una gran parte de la región norte de México y las regiones oeste y de las Altas Llanuras de Estados Unidos, hasta la región sur del oeste de Canadá. Dos indicadores —el SPI y el USDM— se calificaron como muy eficaces para sequías de corto y largo plazos en *todas* las zonas climáticas secas. El porcentaje de precipitación habitual también recibió una calificación de muy eficaz para episodios de largo plazo en *todas* las zonas climáticas secas. Nueve indicadores no listados en el manual de la OMM se calificaron como muy eficaces para monitorear sequías en climas secos. La gran mayoría de los participantes en el cuestionario consideró muy eficaces los indicadores correspondientes a niveles de almacenamiento de embalses y humedad del suelo.

Grupo C: Climas templados en la clasificación climática de Köppen

En América del Norte, el grupo climático C, conforme a la clasificación de Köppen, incluye áreas centrales de México, la costa oeste y la parte sur de las Grandes Llanuras de Estados Unidos hacia el sureste, y la costa oeste de Canadá. En general, 26 indicadores se calificaron como muy eficaces para el monitoreo de episodios de sequía de corto plazo en climas templados y diez para sequías de largo plazo. La diversidad de las respuestas al cuestionario y la cantidad (relativamente) elevada de zonas climáticas templadas derivaron en un conjunto de resultados dispersos. Cabe destacar, sin embargo, que muchos de dichos indicadores calificados de muy eficaces en realidad lo fueron por sólo 50 por ciento de los participantes (o menos).

El USDM es el único indicador que se calificó como muy eficaz para sequías de corto plazo en *todas* las zonas climáticas templadas. Otros tres indicadores se calificaron como muy eficaces para la mayoría de estas zonas (no todas) en el caso de sequías de corto plazo: el PNP, el SPEI y el SPI. Ninguno de los indicadores se consideró muy eficaz para sequías de largo plazo en *todas* las zonas climáticas templadas. Dos indicadores —el SPI y el USDM— fueron calificados como muy eficaces para la mayoría (no todas) de las zonas climáticas templadas en el caso de sequías de largo plazo. Los participantes en el cuestionario calificaron cuatro indicadores no incluidos en el manual de la OMM como muy eficaces para monitorear sequías en *todas* las zonas climáticas templadas, tres de éstos por la gran mayoría de las respuestas: niveles de almacenamiento de embalses, estado de los cultivos y humedad del suelo.

Grupo D: Climas continentales en la clasificación climática de Köppen

En América del Norte, el grupo climático D, de acuerdo con la clasificación de Köppen, comprende gran parte de la región central, noreste y noroeste del territorio continental de Estados Unidos, la mayor parte de Alaska y regiones de mayor elevación; asimismo, la mayor parte del territorio canadiense al sur del círculo polar ártico entra dentro del grupo D.

Para sequías de corto plazo, ningún indicador se calificó como muy eficaz en *todas* las zonas climáticas continentales. El USDM se consideró muy eficaz en casi todas estas zonas, salvo dos. Otros tres indicadores —el PNP, el SPEI y el SPI— recibieron buenas calificaciones para la mayoría de las zonas climáticas continentales. Por cuanto al monitoreo de sequías de largo plazo, *ninguno* de los indicadores se calificó

como muy eficaz en la zona climática Dfd, en tanto que el USDM se consideró muy eficaz en todas las zonas climáticas continentales, salvo en la Dfd. Otros tres indicadores —el SPEI, el PNP y el SPI— se calificaron como muy eficaces para sequías de largo plazo en la *mayoría* de estas zonas. Tres indicadores no listados en el manual de la OMM —estado de los cultivos, percentiles de precipitación y humedad del suelo— fueron calificados como muy eficaces para *todas* las zonas climáticas continentales.

Grupo E: Climas polares en la clasificación climática de Köppen

En América del Norte, el grupo climático E, conforme a la clasificación de Köppen, abarca partes de Alaska y las zonas de mayor elevación en la región oeste de Estados Unidos, así como el extremo septentrional canadiense y las elevaciones mayores en la región oeste de Canadá. Los conocimientos y experiencia relacionados con estas zonas climáticas quedan restringidos a un número limitado de autoridades y especialistas en la materia.

El USDM se calificó como muy eficaz para sequías tanto de corto como de largo plazo en ambas zonas climáticas polares (tundra polar y clima gélido o glacial). Los participantes en el cuestionario calificaron 17 indicadores de sequía no incluidos en el manual de la OMM como muy eficaces para el monitoreo de sequías en climas polares. Sin embargo, debido al reducido número de participantes en el cuestionario, es difícil llegar a conclusiones contundentes acerca de la eficacia de estos indicadores.

Prefacio

En 2019, el Consejo de la Comisión para la Cooperación Ambiental (CCA) aprobó, como parte del Plan Operativo 2019-2020 de la organización, el proyecto *Mejoramiento de la eficacia de los sistemas de alerta temprana en casos de sequía*, iniciativa trinacional coordinada a escala de América del Norte, cuyas actividades buscaban los siguientes tres objetivos relacionados:

1. Conocer los indicadores e índices de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) con el mejor desempeño para el monitoreo de sequías en América del Norte, a fin de mejorar las capacidades de responsables de la toma de decisiones y comunidades, en los ámbitos regional y local, para monitorear condiciones de sequía y prepararse para éstas. Este objetivo se abordaría con la elaboración de un conjunto de directrices sobre el uso de indicadores de relevancia local en las distintas regiones climáticas en América del Norte.
2. Mejorar las capacidades locales para adoptar mejores prácticas en tareas de preparación, planeación y manejo de riesgos, para lo cual se identificarían y compararían información y mejores prácticas en materia de sequía disponibles en Canadá, Estados Unidos y México, y se emitirían recomendaciones dirigidas a las comunidades locales acerca de cómo acceder y usar estos productos y herramientas sobre sequía y en qué forma incorporar este fenómeno en el manejo de riesgos derivados de amenazas múltiples.
3. Evaluar el uso del Monitor de Sequía de América del Norte (*North American Drought Monitor*, NADM) y determinar las necesidades de los usuarios, todo ello con el propósito de orientar la implementación de mejoras al programa, lo que incluye optimizar el acceso de los usuarios y crear nuevas herramientas orientadas al usuario, con énfasis en las regiones transfronterizas del subcontinente.

El presente documento constituye el producto final de dicho objetivo 1.

Agradecimientos

La Comisión para la Cooperación Ambiental (CCA) desea extender su sincero agradecimiento a las siguientes personas y organizaciones por su liderazgo y orientación como integrantes del comité directivo de este proyecto:

- Barrie Bonsal, ministerio de Medio Ambiente y Cambio Climático de Canadá (*Environment and Climate Change Canada*, ECCC)
- Brian Fuchs, Centro Nacional de Mitigación de Sequías (*National Drought Mitigation Center*, NDMC), Estados Unidos
- Elizabeth Weight, Sistema Nacional Integrado de Información sobre Sequías (*National Integrated Drought Information System*, NIDIS) de la Administración Nacional Oceanográfica y Atmosférica (*National Oceanic and Atmospheric Administration*, NOAA), Estados Unidos
- Javier Vicente Aguilar Lara, Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (Sader, la otrora Sagarpa), México
- Juan Bernardo Orozco Sánchez, Sader, México
- Leticia Albarrán Mena, Sader, México
- Mark Shafer, Universidad de Oklahoma, Estados Unidos
- Meredith Muth, Investigación Oceánica y Atmosférica (*Oceanic and Atmospheric Research*), NOAA, Estados Unidos
- Reynaldo Pascual, Comisión Nacional del Agua (Conagua) y Servicio Meteorológico Nacional (SMN), México

- Richard R. Heim Jr., Centros Nacionales de Información Ambiental (*National Centers for Environmental Information*, NCEI), NOAA, Estados Unidos
- Shannon Burke, Asociación Estadounidense de Planificación (*American Planning Association*), Estados Unidos
- Sol Ortiz, Sader, México
- Trevor Hadwen, ministerio de Agricultura y Agroindustria de Canadá (*Agriculture and Agri-Food Canada*, AAFC)
- Víctor Manuel Rodríguez Moreno, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (Inifap), México

Asimismo, la CCA desea reconocer la labor de los integrantes del personal de la unidad *Calidad ambiental* del Secretariado, cuya participación permitió llevar a buen puerto este proyecto, a saber: Orlando Cabrera Rivera, titular de la unidad; Nayheli Alliu, líder de proyectos, y Erika Hercules, asistente administrativa.

Introducción

En 2016, la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y la Asociación Mundial para el Agua (*Global Water Partnership*, GWP) publicaron conjuntamente el *Manual de indicadores e índices de sequía*,¹ cuyo objetivo es sustentar planes de preparación y políticas de manejo de sequías mediante el análisis y la descripción de los indicadores de sequía más comunes utilizados en regiones propensas a este fenómeno. Al mostrar de qué indicadores se dispone y cuáles se utilizan en todo el mundo, sin pretender dar a los diferentes indicadores una jerarquía o emitir recomendaciones sobre cuáles deben utilizarse, dicho manual busca servir de referencia a profesionales en el campo de la sequía (OMM y GWP, 2016).

La presente guía se propone complementar el manual de la OMM al orientar respecto de qué indicadores de sequía resultan los más convenientes para monitorear episodios de este fenómeno en las distintas zonas climáticas en América del Norte, según la clasificación de Köppen. El estudio que permitió su elaboración se centró en los indicadores listados en el manual de la OMM, pero además incorporó 21 indicadores no incluidos en dicho manual, de manera que ofrece una actualización de la lista original de indicadores de la OMM. La orientación que aquí se brinda se basa en las opiniones recogidas entre profesionales del campo de la sequía de Canadá, Estados Unidos y México. Se trata de una guía informal que no pretende ser prescriptiva y cuya información se espera sirva a los responsables de la toma de decisiones y a las comunidades mismas para ayudar a monitorear condiciones de sequía y prepararse ante éstas en las respectivas áreas geográficas de interés, responsabilidad o residencia.

Creada por W. P. Köppen en 1884 y revisada en colaboración con Rudolf Geiger en la década de 1930, la clasificación climática de Köppen (también llamada sistema de Köppen-Geiger) se ha sometido a variaciones subsiguientes por parte de otros climatólogos y, en la actualidad, es la clasificación de climas de mayor aceptación en todo el mundo. Beck *et al.* (2018) publicaron mapas mundiales de alta resolución de la clasificación climática de Köppen-Geiger, en la que los distintos climas se distribuyen en cinco grupos principales y 30 zonas (o subtipos), con base en valores definidos matemáticamente para temperatura del aire y precipitación mensuales y en su estacionalidad (Beck *et al.*, 2018). Cada grupo y zona se representan mediante una combinación de letras: los principales grupos climáticos son tropicales (A), secos (B), templados (C), continentales (D) y polares (E), en tanto que para las zonas o subtipos se utilizan letras adicionales, que describen con más detalle características de temperatura y precipitación, como la estacionalidad y las condiciones extremas.

Los usuarios de la presente guía pueden seleccionar el grupo climático de Köppen y la(s) zona(s) de pertinencia para el área geográfica de su interés o a su cargo, y luego examinar los cuadros correspondientes para ver qué indicadores se consideran más eficaces, de acuerdo con las opiniones de expertos en sequía de América del Norte.

El presente informe se divide en cinco partes. Además de esta introducción (parte 1), se describen los métodos empleados en el presente estudio (parte 2); se sintetiza la información relacionada con los participantes en un cuestionario aplicado por la CCA a profesionales en sequía (parte 3); se presentan los resultados de dicho cuestionario y se resume la eficacia de indicadores de sequía por grupo climático (parte 4), y se explora la eficacia y el desempeño de algunos indicadores desde una perspectiva de alcance subcontinental (parte 5). Asimismo, se han incluido tres apéndices con el listado completo de las zonas climáticas de Köppen (apéndice A), los indicadores objeto de análisis del presente estudio (apéndice B) y las preguntas formuladas en el cuestionario en línea (apéndice C).

¹ Los indicadores son variables, factores o parámetros utilizados para describir condiciones de sequía. Los índices son representaciones numéricas informatizadas de la severidad de las sequías y tienen por objeto medir (analizar) el estado cualitativo de una sequía en un entorno y periodo determinados. Desde el punto de vista técnico, los índices también se consideran indicadores (OMM y GWP, 2016). Por ello, para fines del presente documento, el término *indicadores de sequía* se utiliza para referirse tanto a índices como a indicadores.

Métodos

La información contenida en el presente informe se compiló principalmente por medio de cuestionarios y consultas grupales de seguimiento, ambos ejercicios efectuados en línea, y se complementó a partir de una revisión documental y discusión en la materia con expertos y sectores de pertinencia interesados.

Estructura y distribución del cuestionario

Con apoyo en la plataforma de diseño de cuestionarios Zoho Survey, los consultores de la iniciativa, en estrecha consulta con personal de la CCA e integrantes del comité directivo del proyecto (véase el apéndice C),² crearon un cuestionario a aplicarse en línea, conformado por un total de 41 preguntas. Si bien algunas de éstas tenían la intención de reunir información de antecedentes (por ejemplo, “¿En qué país trabaja en la actualidad?”), la mayoría de las preguntas formuladas fueron de carácter más sustantivo y giraron en torno a la experiencia y los conocimientos de los participantes en relación con indicadores de sequía. La versión final (en inglés) se tradujo al español y al francés, de manera que el cuestionario estuvo disponible en los tres idiomas, pudiendo accederse a partir del mismo enlace.

El 26 de marzo de 2020, la CCA envió por correo electrónico las invitaciones a participar en el cuestionario a 276 posibles interesados (205 en inglés, 17 en francés y 54 en español). Se invitó a los destinatarios a reenviar el enlace del cuestionario a colegas activos en tareas de monitoreo de sequía. El cuestionario estuvo activo a lo largo de 17 semanas y se cerró el 23 de julio de 2020. Vía la misma plataforma Zoho Survey se generaron informes semanales que permitieron a los consultores seguir de cerca los avances del ejercicio.

Análisis del cuestionario

Las respuestas y los resultados del cuestionario se analizaron utilizando una combinación de software Zoho y Microsoft. Cabe resaltar que los participantes en el cuestionario no estaban obligados a contestar todas las preguntas, por lo que el número de respuestas obtenidas varía de una pregunta a otra.

Una de las características de la plataforma Zoho es que puede generar informes con referencias cruzadas, lo cual a su vez permitió comparar, en los casos en que procedía, los datos obtenidos para dos preguntas distintas. Por ejemplo, mediante un informe con referencias cruzadas, se compararon las respuestas a las preguntas 1 (“¿En qué país trabaja en la actualidad?”) y 19 (“¿Utiliza en su trabajo el *Manual de indicadores e índices de sequía* de la OMM?”), lo que permitió organizar y presentar las respuestas a la pregunta 19 ordenadas por país.

En una de las preguntas clave del cuestionario, los participantes debían indicar qué zona(s) climática(s), de acuerdo con la clasificación de Köppen, correspondía(n) al área o áreas geográficas bajo su responsabilidad. Esto permitió asociar las zonas climáticas de Köppen seleccionadas con las respuestas a otras preguntas y generar informes con referencias cruzadas, lo que a su vez hizo luego posible sintetizar las respuestas a tales preguntas con base en las zonas del sistema de Köppen.

Los participantes en el cuestionario debían calificar la utilidad o pertinencia de una diversidad de indicadores de sequía en relación con las respectivas áreas geográficas a su cargo, seleccionando entre un rango de opciones: desde “menos eficaz” (1) hasta “muy eficaz” (5). La misma pregunta se formuló por separado para cinco categorías de indicadores: meteorología, humedad del suelo, hidrología, teledetección y mixtos o modelados. Cada una de las categorías de indicadores se presentó dos veces: una para

² El comité directivo del proyecto se conformó con representantes de los gobiernos de Canadá, Estados Unidos y México, cuyos nombres y afiliaciones aparecen enlistados en el apartado de agradecimientos al principio del presente documento.

determinar su eficacia en el caso de sequías de corto plazo, y nuevamente para sequías de largo plazo.³ Por lo tanto, se solicitó a los participantes contestar diez preguntas relacionadas con este tema. Los indicadores enlistados en estas preguntas se tomaron todos del manual de la OMM.

En una pregunta relacionada pero aparte, se pidió a los participantes calificar una lista de indicadores no incluidos en el manual de la OMM. Así pues, en total se buscó retroalimentación de los participantes respecto a la eficacia de 73 indicadores de sequía individuales: 51 enlistados en el manual de la OMM y 22 no incluidos en éste.

Los datos obtenidos arrojaron el porcentaje de participantes que, para cada zona climática, calificaron la eficacia de cada indicador del 1 (poco eficaz) al 5 (muy eficaz). Los datos para las calificaciones de 4 y 5 se sumaron, a fin de obtener el porcentaje de respuestas en las que se consideraba dicho indicador como “muy eficaz”.

Estos datos se compilaron en cuadros que permiten determinar los indicadores más eficaces (de acuerdo con las respuestas al cuestionario) para sequía de corto y largo plazos en zonas climáticas específicas (conforme a la clasificación de Köppen) en América del Norte. Únicamente los indicadores que obtuvieron calificaciones de 4 o 5 en 50 por ciento de las respuestas o más se incluyeron en dichos cuadros. Las celdas en blanco en los cuadros indican que en menos de 50 por ciento de las respuestas se calificó el indicador en cuestión como muy eficaz.

Estructura y distribución de la consulta

Con el objetivo de recopilar información más detallada acerca de los temas relacionados con la sequía y el uso de indicadores de este fenómeno en América del Norte, se facilitaron dos seminarios web (en línea). El contenido de ambos fue idéntico, salvo por el idioma: uno se ofreció en inglés y el otro en español.

Los puntos de discusión y las preguntas formuladas en los webinaros se derivaron de un análisis de los resultados del cuestionario en línea previamente aplicado. El equipo consultor fue el encargado de concebir las preguntas, mismas que luego se sometieron a la revisión, por medio de consulta, de miembros del personal de la CCA y el comité directivo del proyecto. Así, cada seminario web se centró en una serie de preguntas por tema de discusión:

1. *Definición de sequía*
 - a. ¿Cómo define la sequía en el área geográfica a su cargo o el sector económico a que pertenece?
 - b. ¿En qué forma afecta la sequía a la población en el área geográfica bajo su responsabilidad?
2. *Zonas climáticas*
 - a. ¿Hay algún aspecto exclusivo o característico del clima en su área que considere de pertinencia para el monitoreo de sequías o para la aplicación de índices de sequía específicos?
3. *Indicadores de sequía*
 - a. ¿Cuán eficaces son los indicadores de sequía para el área o sector a su cargo?
 - b. ¿En qué forma pueden optimizarse los indicadores disponibles? ¿Qué características están faltando o qué datos adicionales podrían recabarse?
4. *Porcentaje de precipitación habitual*

³ La sequía de corto plazo se definió como un episodio con una duración de menos de seis meses; la sequía de largo plazo corresponde a un evento que dura seis meses o más.

- a. Para quienes usan el porcentaje de precipitación habitual (PNP, por sus siglas en inglés), ¿en qué estriba la importancia de este índice de sequía en comparación con otros indicadores?
- b. ¿Cómo le ayuda el PNP a entender la sequía?
- c. ¿Cuán familiarizado se encuentra con la diferencia, en términos de eficacia, entre los indicadores de sequía PNP e Índice Estandarizado de Precipitación (*standardized precipitation index*, SPI)?

Una vez definido el esquema a seguir para las consultas, la CCA invitó por correo electrónico a los contactos recopilados por el comité directivo. En los mensajes de invitación se incluyó un enlace a un registro en la plataforma Zoho, mediante el cual los participantes podían proporcionar su información de contacto para que, más adelante, se les enviaran, también vía correo electrónico, los enlaces y las contraseñas correspondientes de acceso a los webinarios.

Proceso de consulta

Los dos seminarios web se llevaron a cabo en formato virtual por medio de la plataforma de videoconferencias Zoom: uno el 8 de octubre de 2020 (en inglés) y el otro algunos días después, el 13 de octubre (en español). Facilitados ambos por los consultores, los webinarios tuvieron una duración de tres horas y su contenido consistió en presentaciones introductorias a cargo de la CCA y el equipo consultor, seguidas de las discusiones encabezadas por expertos integrantes del comité directivo. Se invitó a los participantes a integrarse al diálogo, ya fuera en forma oral o mediante mensajes en el foro por chat. Los eventos se grabaron y el contenido de los chats se copió para referencia futura.

Participantes en el cuestionario

País

Se preguntó a los participantes en este ejercicio en qué país trabajaban. De las 145 respuestas obtenidas para esta pregunta, se observa que 84 trabajan en Estados Unidos, 33 en Canadá y 28 en México.

Sectores

La mayoría de los participantes que respondieron al cuestionario (65 por ciento) desempeña un cargo oficial en el manejo de sequías (cuadro 1 y gráfica 1). Al preguntárseles cuál era su función, la mayoría (91 por ciento) indicó desempeñar una función en alguno de los órdenes de gobierno: 46 por ciento en el gobierno federal; 26 por ciento en gobiernos estatales o provinciales; 16 por ciento en los ámbitos municipal, local o microrregional (en gestión de recursos hídricos, manejo de emergencias, seguridad pública, u otro cargo de gobierno), y 3 por ciento en un gobierno indígena (véanse el cuadro 1 y la gráfica 1).

Aproximadamente una quinta parte (21 por ciento) de los participantes respondió pertenecer al gremio académico o de investigación; un total de 13 por ciento señaló desempeñar alguna función en organizaciones no gubernamentales o intergubernamentales, y 15 por ciento indicó desempeñarse en el sector privado, en producción agropecuaria, en una asociación gremial o profesional, o en otro sector empresarial (referirse también al cuadro 1 y la gráfica 1).

Pocos (4 por ciento) participantes respondieron tener alguna función en medios de comunicación o en planificación comunitaria o urbana, y 10 por ciento eligió la opción “Otros” en referencia a su sector de actividad, con especificaciones entre las que figuraron: “organismo internacional”, “autoridad de conservación (cuencas hidrográficas)” y “recién jubilado” (de nuevo, cuadro 1 y figura 1).

Actividades

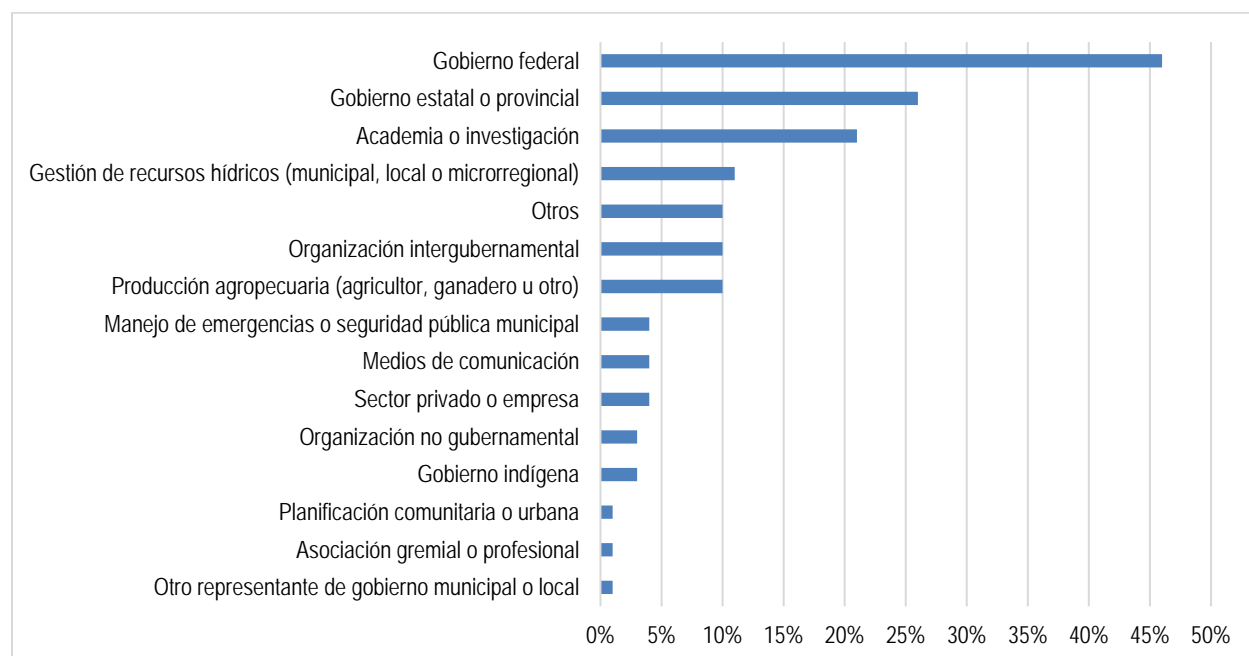
Se preguntó a los participantes cuánto tiempo dedicaban a actividades relacionadas con la sequía. La mayoría respondió destinar al menos 10 por ciento de su tiempo a las siguientes actividades: monitoreo de sequía (84 por ciento de las respuestas), comunicación (69 por ciento), mitigación de amenazas o resiliencia frente a desastres (66 por ciento), planificación medioambiental y de recursos naturales (61 por ciento), investigación gubernamental (59 por ciento) y planificación integral o de largo plazo (51 por ciento) (véanse el cuadro 2 y la gráfica 2).

Cuadro 1. Funciones de los participantes en relación con la sequía

| Función | Respuestas |
|---|------------|
| Gestión de recursos hídricos en los ámbitos municipal, local o microrregional | 9 |
| Manejo de emergencias o seguridad pública a escala de ciudad o municipal | 3 |
| Academia o investigación | 17 |
| Otro representante del gobierno municipal o local | 1 |
| Gobierno indígena | 2 |
| Sector privado o empresa | 3 |
| Producción agropecuaria (agricultor, ganadero u otro) | 8 |
| Asociación gremial o profesional | 1 |
| Organización no gubernamental | 2 |
| Organización intergubernamental | 8 |
| Medios de comunicación | 3 |
| Gobierno estatal o provincial | 21 |
| Gobierno federal | 37 |
| Planificación comunitaria o urbana | 1 |
| Otros | 8 |

Nota: Los participantes tenían la opción de indicar más de una función.

Gráfica 1. Funciones de los participantes en relación con la sequía, en porcentajes

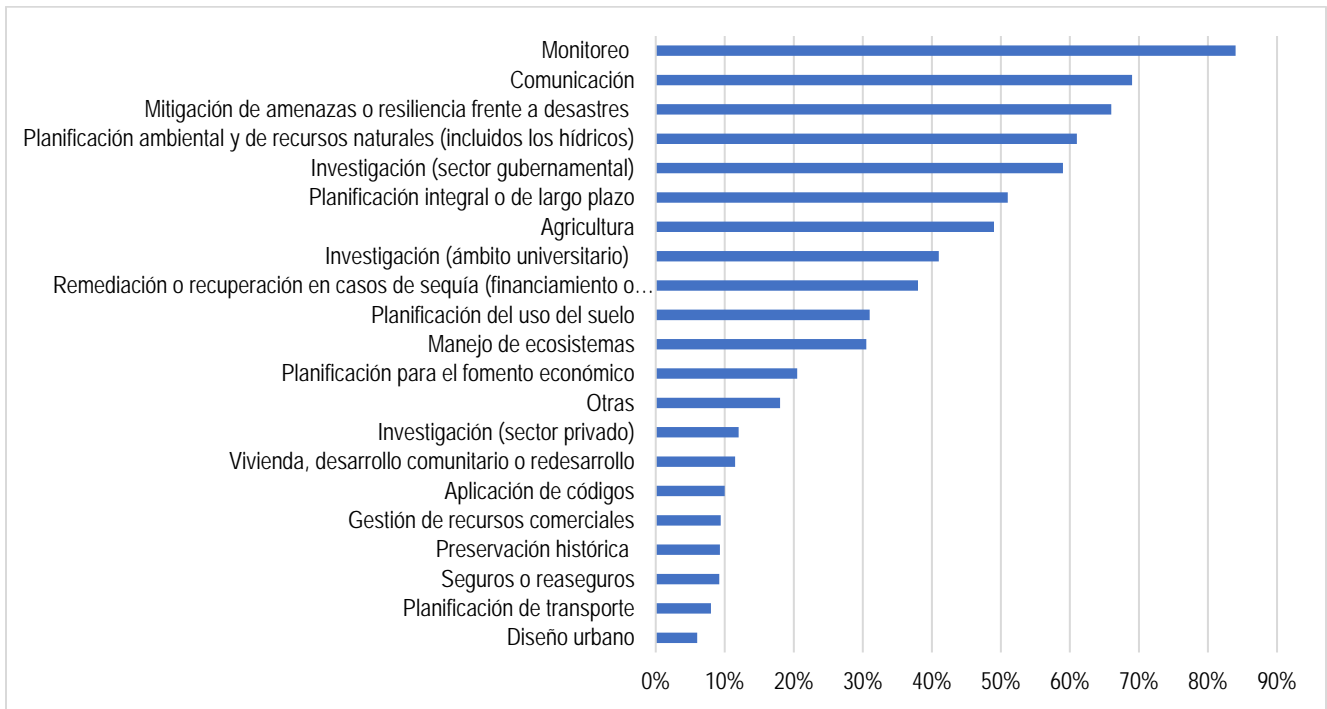


Cuadro 2. Actividades de los participantes relacionadas con la sequía

| Actividades | Respuestas |
|---|------------|
| Agricultura | 46 |
| Aplicación de códigos | 9 |
| Manejo de recursos comerciales | 8 |
| Comunicación | 64 |
| Planificación integral o de largo plazo | 49 |
| Remediación o recuperación en casos de sequía (financiamiento o recursos) | 34 |
| Planificación para el fomento económico | 19 |
| Manejo de ecosistemas | 29 |
| Planificación ambiental y de recursos naturales (incluidos los hídricos) | 63 |
| Mitigación de amenazas o resiliencia frente a desastres | 63 |
| Preservación histórica | 8 |
| Vivienda, desarrollo comunitario o redesarrollo | 12 |
| Seguros o reaseguros | 8 |
| Planificación del uso del suelo | 33 |
| Monitoreo | 83 |
| Investigación (sector gubernamental) | 56 |
| Investigación (sector privado) | 11 |
| Investigación (ámbito universitario) | 40 |
| Planificación de transporte | 7 |
| Diseño urbano | 5 |
| Otras | 9 |

Nota: Las respuestas indican el número de participantes en el cuestionario que respondieron dedicar 10 por ciento o más de su tiempo en las actividades respectivas. Obsérvese que se tenía la opción de seleccionar más de una actividad.

Gráfica 2. Actividades de los participantes relacionadas con la sequía, en porcentajes



Indicadores de sequía por grupo climático

Grupo A: Climas tropicales en la clasificación climática de Köppen

Sequía en climas tropicales en América del Norte

El grupo climático A corresponde a climas tropicales con temperaturas de no menos de 18 °C en los meses más fríos. En función del tipo de precipitación estacional, este grupo se subdivide en tres zonas climáticas:⁴

- Af: Clima tropical de selva (húmedo, ecuatorial lluvioso)
- Am: Clima tropical monzónico
- Aw: Clima tropical de sabana (húmedo-seco)

En América del Norte, el grupo climático A conforme al sistema de Köppen se restringe a las zonas meridionales y costeras de México, el sur de Florida y las Islas Vírgenes de Estados Unidos (gráfica 3). De las 164 respuestas al cuestionario, 49 participantes indicaron que el área geográfica a su cargo estaba incluida en el grupo climático A de Köppen: 18 en la subdivisión Af, doce en la zona Am y 19 en la zona Aw. La mayoría de estos participantes señalaron desempeñar una función oficial en el manejo de la sequía, distribuidos de la siguiente manera: doce para la zona climática Af, ocho para la Am y diez para la Aw.

Uno de los participantes provenía de Canadá, 33 de Estados Unidos y 15 de México. Entre los participantes de Estados Unidos se incluyeron algunos de las Islas del Pacífico afiliadas a Estados Unidos (Micronesia y Samoa Estadounidense), que representan las zonas Af y Aw (cuadro 3).

Todos los participantes con interés en las zonas climáticas Af y Am, y todos salvo uno por cuanto a la zona climática Aw, indicaron que sus áreas de responsabilidad habían experimentado sequías en los últimos diez años (cuadro 4), y al referirse a la frecuencia de tales fenómenos para las tres zonas climáticas tropicales, la mayoría de los participantes reportaron episodios de sequía en entre tres y cinco años de los últimos diez (cuadro 5).

La duración de la sequía típica osciló entre uno y más de doce meses. Ningún participante reportó sequías con una duración de menos de un mes en alguna de las zonas climáticas del grupo A. La mayoría de las respuestas indicaron que las sequías tuvieron una duración de seis meses o menos en cada una de las zonas climáticas, con sequías típicas de entre tres y seis meses de duración, por lo que se les considera de corto plazo (cuadro 6 y gráfica 4).

Factores que influyen en la selección de indicadores

La mayoría de las personas que respondieron el cuestionario indicaron que la pertinencia del indicador, la disponibilidad de datos pertinentes y requeridos, y la familiaridad con el indicador en cuestión son todos factores de suma importancia al seleccionar indicadores en climas tropicales. Para la mayoría de los participantes relacionados con las zonas climáticas Af y Am, el historial de indicadores utilizados previamente en el área o región de interés o de responsabilidad se percibió como de enorme relevancia, en tanto que para la zona Am la complejidad o dificultad de los cálculos requeridos fue el factor que la mayoría de los participantes indicó como muy importante (cuadro 7).

⁴ Heim, en correspondencia; Peel, Finlayson y McMahon, 2007.

Los factores más importantes al seleccionar indicadores en climas tropicales, listados en orden de importancia (de mayor a menor), fueron los siguientes:

- Pertinencia del índice o indicador para el área o región de interés
- Disponibilidad de datos pertinentes y requeridos para calcular el índice o indicador
- Familiaridad con el índice o indicador específico
- Historial de índices e indicadores utilizados previamente en el área o región de interés
- Complejidad o dificultad de los cálculos requeridos

Desempeño de los índices o indicadores

Las opiniones de los participantes en el cuestionario se dividieron casi por igual en lo que respecta a si los indicadores e índices utilizados funcionan igualmente bien en *toda* su área geográfica de responsabilidad en zonas climáticas tropicales (cuadro 8, gráfica 5). En contraste, la mayoría de los participantes coincidió en que los indicadores resultan igualmente adecuados (tienen la misma eficacia de desempeño) durante las distintas estaciones o temporadas del año en dichas zonas (cuadro 9, gráfica 6).

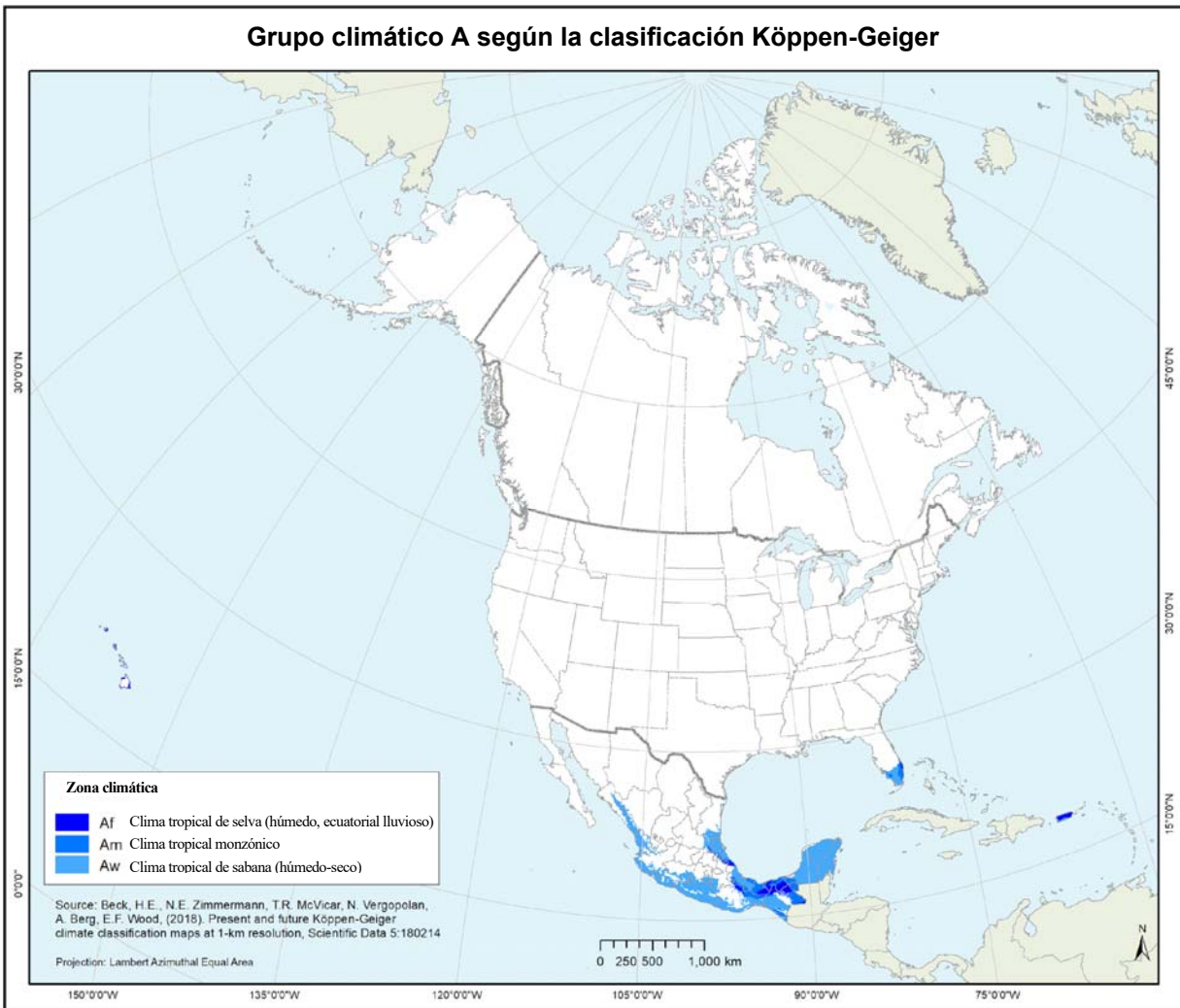
Índices e indicadores de sequía en climas tropicales en América del Norte

En términos generales, 50 por ciento o más de los participantes calificaron doce indicadores distintos como muy eficaces para sequías de corto plazo en climas tropicales, y siete para sequías de largo plazo (cuadro 10). Es importante notar, sin embargo, que para muchos de estos indicadores dicha calificación provino solamente de 50 por ciento de las respuestas, lo cual significa que la mitad de los participantes no los consideran como tan eficaces.

Tres indicadores se calificaron como eficaces en las tres zonas de clima tropical, para sequías tanto de corto como de largo plazo, a saber: el PNP, el SPI y el Monitor de Sequía de Estados Unidos (*United States Drought Monitor*, USDM). De ahí que estos tres indicadores puedan considerarse los de mayor eficacia para monitorear sequías en climas tropicales en América del Norte. Cabe destacar que el SPI obtuvo calificaciones altas en más respuestas que el PNP para la mayoría de las zonas climáticas tropicales, sobre todo en lo que respecta al monitoreo de sequías de largo plazo (cuadro 10).

Los participantes en el cuestionario calificaron 18 indicadores de sequía no incluidos en el manual de la OMM como muy eficaces para monitorear sequías en climas tropicales, nueve de estos para la totalidad de las zonas. El grado de verdor de la vegetación y la humedad del suelo recibieron dicha calificación en un promedio de 82 y 75 por ciento de las respuestas, respectivamente, en las tres zonas climáticas tropicales; en tanto que el nivel de almacenamiento de embalses obtuvo calificaciones altas para las zonas Af y Am, pero más bajas para la zona Aw (cuadro 11).

Gráfica 3. Distribución de climas tropicales en América del Norte



Cuadro 3. Participantes en el cuestionario que trabajan activamente en climas tropicales, por país

| Zona climática | Canadá | Estados Unidos | México | Total |
|------------------------------|----------|----------------|-----------|-----------|
| Af: Clima tropical de selva | - | 13 | 5 | 18 |
| Am: Clima tropical monzónico | - | 8 | 4 | 12 |
| Aw: Clima tropical de sabana | 1 | 12 | 6 | 19 |
| Total | 1 | 33 | 15 | 49 |

Nota: Los datos indican el número de respuestas obtenidas.

Cuadro 4. Ocurrencia de sequía en climas tropicales, en los últimos diez años

| Zona climática | Sí | No | No sé |
|------------------------------|-----------|----------|----------|
| Af: Clima tropical de selva | 18 | - | - |
| Am: Clima tropical monzónico | 12 | - | - |
| Aw: Clima tropical de sabana | 18 | 1 | - |
| Total | 48 | 1 | - |

Nota: Los datos indican el número de respuestas obtenidas.

Cuadro 5. Frecuencia de eventos de sequía en climas tropicales

| Zona climática | Frecuencia de eventos de sequía (en años) | | |
|------------------------------|---|-----------|--------------|
| | De 1 a 2 | De 3 a 5 | Más de cinco |
| Af: Clima tropical de selva | 4 | 8 | 6 |
| Am: Clima tropical monzónico | 2 | 6 | 4 |
| Aw: Clima tropical de sabana | 4 | 8 | 6 |
| Total | 10 | 22 | 16 |

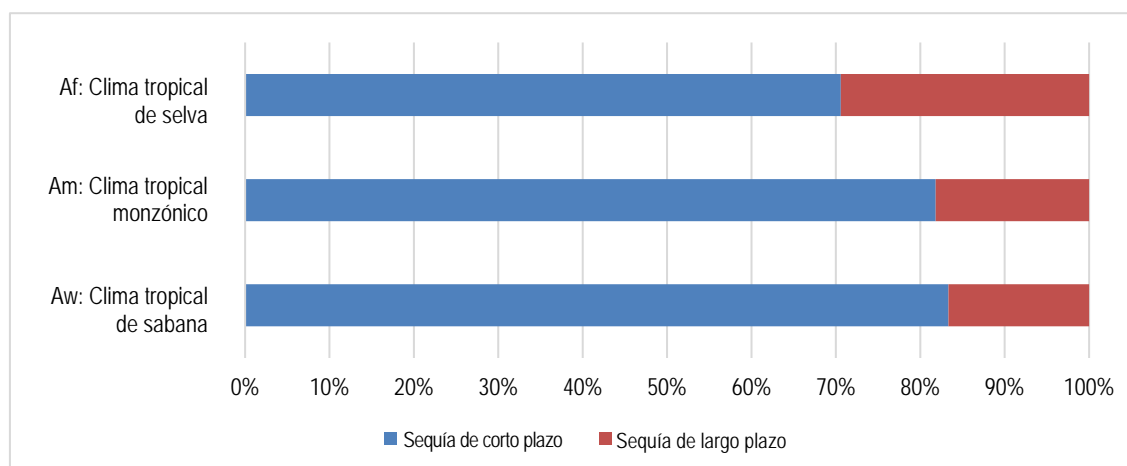
Nota: Los datos indican el número de respuestas obtenidas. La frecuencia de eventos de sequía se refiere a qué tan a menudo se experimentaron episodios de sequía en los últimos diez años.

Cuadro 6. Duración de la sequía típica en climas tropicales

| Zona climática | Duración de la sequía (en meses) | | | | Sequía de corto plazo | Sequía de largo plazo |
|------------------------------|----------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------------------|-----------------------|
| | De 1 a 3 | De 3 a 6 | De 6 a 12 | Más de 12 | | |
| Af: Clima tropical de selva | 3 | 9 | 2 | 3 | 12 | 5 |
| Am: Clima tropical monzónico | 1 | 8 | 1 | 1 | 9 | 2 |
| Aw: Clima tropical de sabana | 3 | 12 | 1 | 2 | 15 | 3 |
| Total | 7 | 29 | 4 | 6 | 36 | 10 |

Nota: Los datos indican el número de respuestas obtenidas. Es importante observar que los datos difirieron para episodios de sequía de largo y corto plazos. La sequía de corto plazo tiene una duración de menos de seis meses; la de largo plazo dura seis meses o más.

Gráfica 4. Duración de la sequía típica en climas tropicales: comparación entre corto y largo plazos



Cuadro 7. Factores que influyen en la elección de índices e indicadores en climas tropicales

| Factores | Zonas climáticas de Köppen | | |
|--|----------------------------|-----|-----|
| | Af | Am | Aw |
| Disponibilidad de datos pertinentes y requeridos para calcular el índice o indicador | 64% | 56% | 57% |
| Complejidad o dificultad de los cálculos requeridos | - | 56% | - |
| Pertinencia del índice o indicador para el área o región de interés | 64% | 67% | 64% |
| Familiaridad con el índice o indicador específico | 55% | 56% | 50% |
| Historial de índices e indicadores utilizados previamente en el área o región de interés | 55% | 56% | - |
| Número de respuestas | 11 | 9 | 14 |

Nota: Los datos indican los casos donde al menos 50 por ciento de los participantes calificaron el factor como muy importante para la respectiva zona climática. Af: clima tropical de selva (húmedo, ecuatorial lluvioso); Am: clima tropical monzónico, y Aw: clima tropical de sabana (húmedo-seco).

Cuadro 8. Desempeño de los indicadores en toda el área geográfica de interés en climas tropicales

| Zona climática | Los índices e indicadores se desempeñan con la misma eficacia | Los índices e indicadores <u>no</u> se desempeñan con la misma eficacia |
|------------------------------|---|---|
| Af: Clima tropical de selva | 6 | 5 |
| Am: Clima tropical monzónico | 4 | 5 |
| Aw: Clima tropical de sabana | 7 | 7 |
| Total | 17 | 17 |

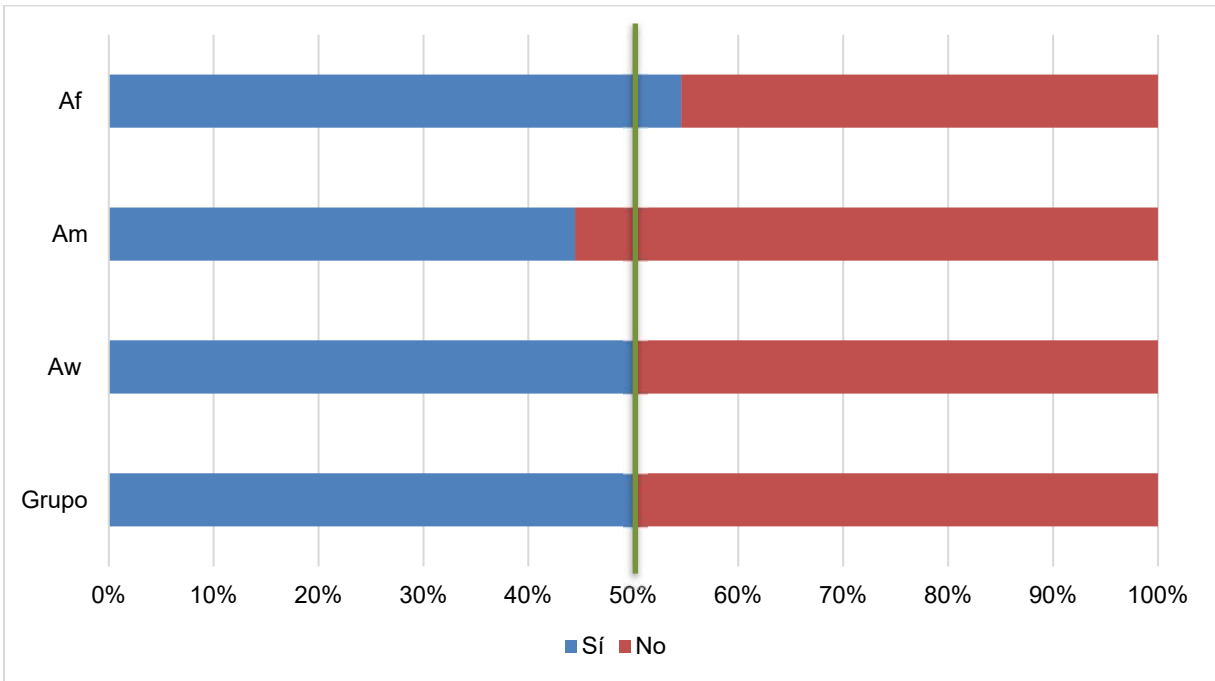
Nota: Los datos indican el número de respuestas obtenidas.

Cuadro 9. Desempeño de los indicadores en distintas temporadas en climas tropicales

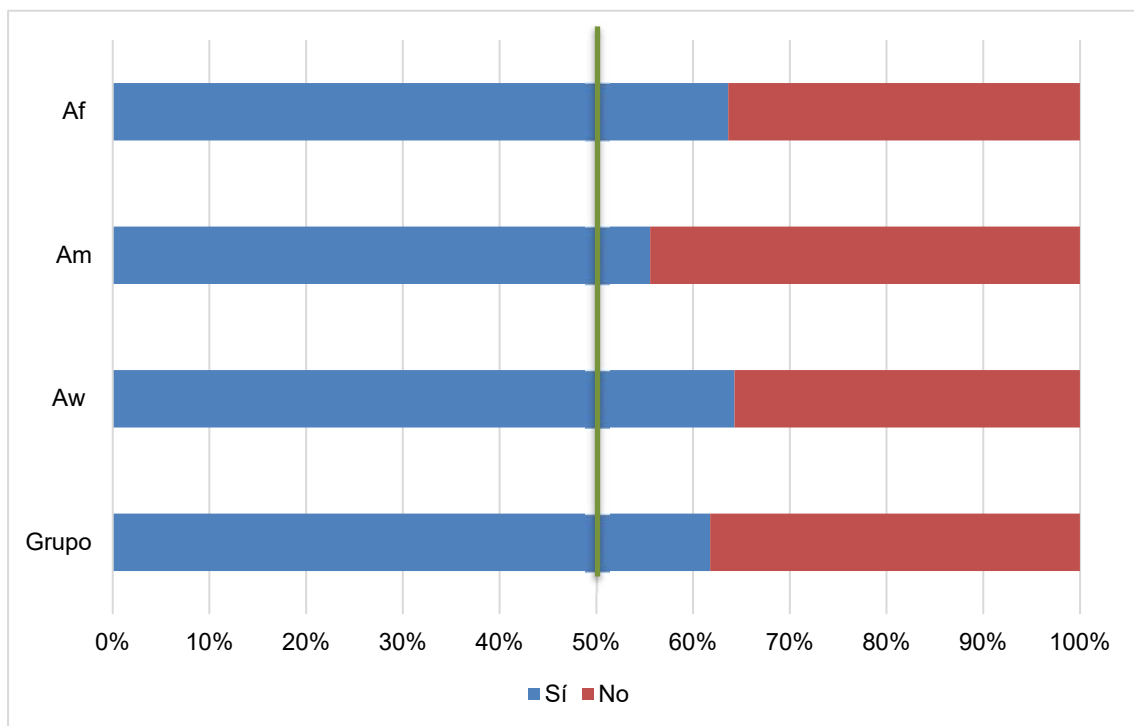
| Zona climática | Los índices e indicadores se desempeñan con la misma eficacia | Los índices e indicadores <u>no</u> se desempeñan con la misma eficacia |
|------------------------------|---|---|
| Af: Clima tropical de selva | 7 | 4 |
| Am: Clima tropical monzónico | 5 | 4 |
| Aw: Clima tropical de sabana | 9 | 5 |
| Total | 21 | 13 |

Nota: Los datos indican el número de respuestas obtenidas.

Gráfica 5. ¿Se desempeñan los indicadores con la misma eficacia en distintas áreas geográficas en climas tropicales?



Gráfica 6. ¿Se desempeñan los indicadores con la misma eficacia en distintas temporadas en climas tropicales?



Cuadro 10. Índices e indicadores más eficaces para sequía en climas tropicales

a) Indicadores más eficaces para sequía de corto plazo en climas tropicales

| Categoría | Indicador | Zonas climáticas de Köppen | | |
|--------------------|---|----------------------------|-----|-----|
| | | Af | Am | Aw |
| Meteorología | Índice de Humedad de los Cultivos (CMI) | - | 50% | - |
| | Porcentaje de precipitación habitual (PNP) | 57% | 60% | 56% |
| | Índice Normalizado de Anomalías (SAI) | - | 50% | - |
| | Índice Estandarizado de Precipitación y Evapotranspiración (SPEI) | - | 50% | - |
| | Índice Estandarizado de Precipitación (SPI) | 64% | 70% | 50% |
| | Anomalía ponderada y normalizada de la precipitación (WASP) | - | 50% | - |
| | Número de respuestas | 14 | 10 | 16 |
| Humedad del suelo | Anomalía de la humedad del suelo (SMA) | 50% | 50% | - |
| | Índice del Déficit de Humedad del Suelo (SMDI) | 50% | 60% | - |
| | Número de respuestas | 12 | 10 | 15 |
| Teledetección | Índice Mejorado de Vegetación (EVI) | 50% | 50% | - |
| | Índice de Estrés por Evaporación (ESI) | 50% | 50% | - |
| | Índice Diferencial Normalizado de Vegetación (NDVI) | 58% | 60% | - |
| | Número de respuestas | 12 | 10 | 15 |
| Mixtos o modelados | Monitor de Sequía de Estados Unidos (USDM) | 75% | 70% | 67% |
| | Número de respuestas | 12 | 10 | 15 |

b) Indicadores más eficaces para sequía de largo plazo en climas tropicales

| Categoría | Indicador | Zonas climáticas de Köppen | | |
|--------------------|---|----------------------------|-----|-----|
| | | Af | Am | Aw |
| Meteorología | Índice de Sequía Efectiva (EDI) | - | 50% | - |
| | Índice de Severidad de Sequía de Palmer (PDSI) | 50% | 50% | - |
| | Porcentaje de precipitación habitual (PNP) | 50% | 50% | 57% |
| | Índice Estandarizado de Precipitación y Evapotranspiración (SPEI) | - | 50% | - |
| | Índice Estandarizado de Precipitación (SPI) | 83% | 88% | 57% |
| | Anomalía ponderada y normalizada de la precipitación (WASP) | - | 50% | - |
| | Número de respuestas | 12 | 8 | 14 |
| Mixtos o modelados | Monitor de Sequía de Estados Unidos (USDM) | 64% | 67% | 64% |
| | Número de respuestas | 11 | 9 | 14 |

Notas: Los datos indican los casos donde al menos 50 por ciento de los participantes calificaron el indicador como muy importante para la respectiva zona climática. La sequía de corto plazo tiene una duración de menos de seis meses; la de largo plazo dura seis meses o más. Af: clima tropical de selva (húmedo, ecuatorial lluvioso); Am: clima tropical monzónico, y Aw: clima tropical de sabana (húmedo-seco).

Cuadro 11. Índices e indicadores no incluidos en el manual de la OMM de mayor eficacia para el monitoreo de sequías en climas tropicales

| Indicador | Zonas climáticas de Köppen | | |
|--|----------------------------|-----|-----|
| | Af | Am | Aw |
| Pronósticos de 5 días | 70% | 63% | - |
| Pronósticos de 8 a 14 días | 50% | - | - |
| Situación o estado de los cultivos | 70% | 75% | - |
| Profundidad (nivel) del agua subterránea | 70% | 75% | 54% |
| Precipitación fuera de lo normal | 70% | 63% | 62% |
| Percentiles de precipitación | 70% | 75% | 62% |
| Rangos o pautas de precipitación | 60% | 63% | - |
| Impactos de la sequía registrados | 70% | 63% | - |
| Almacenamiento de embalses | 80% | 75% | 62% |

| | | | |
|--|-----|-----|-----|
| Pronósticos estacionales | 50% | 50% | - |
| Humedad del suelo | 80% | 75% | 69% |
| Caudales o flujos de corriente | 60% | 50% | - |
| Temperaturas fuera de lo normal | 60% | 63% | 62% |
| Rangos de temperatura | 60% | 63% | - |
| Verdor de la vegetación | 90% | 88% | 69% |
| Calidad del agua | - | 50% | - |
| Consumo (demanda) de agua | 60% | 63% | 54% |
| Ubicación e informes de incendios forestales | 60% | 50% | 54% |
| Número de respuestas | 10 | 8 | 13 |

Notas: Los datos indican los casos donde al menos 50 por ciento de los participantes calificaron el indicador como muy importante para la respectiva zona climática. Af: clima tropical de selva (húmedo, ecuatorial lluvioso); Am: clima tropical monzónico, y Aw: clima tropical de sabana (húmedo-seco).

Grupo B: Climas secos (desérticos y semiáridos) en la clasificación climática de Köppen

Sequía en climas secos en América del Norte

Caracterizado por la escasez de precipitación, el grupo climático B comprende las siguientes seis zonas climáticas,⁵ con base en el tipo de precipitación estacional y la temperatura media anual:

- BW: Clima árido (desértico)
- BWh: Clima árido cálido
- BWk: Clima árido frío
- BS: Clima semiárido
- BSh: Clima semiárido cálido
- BSk: Clima semiárido frío (estepario)

En América del Norte, el grupo climático B en la clasificación de Köppen es muy extenso: abarca una gran parte de la región norte de México y las regiones oeste y de las Altas Llanuras de Estados Unidos, hasta la región sur del oeste de Canadá (gráfica 7).

De las 164 respuestas obtenidas al cuestionario, 133 participantes indicaron que su área geográfica de responsabilidad correspondía al grupo climático B de Köppen, distribuidos entre todas las zonas climáticas, con el porcentaje más alto —28 por ciento de todas las respuestas referentes al grupo climático B— ubicados la zona BSk, de clima semiárido frío (estepario). Trece de los participantes fueron de Canadá (principalmente de la zona climática BSk), 88 de Estados Unidos y 32 de México (cuadro 12).

Casi todos los participantes cuya labor se relaciona con el grupo de climas secos indicaron que sus respectivas áreas de responsabilidad habían experimentado sequías en la década previa, con la excepción de dos (de la zona BSk) que reportaron no haber experimentado sequía alguna y tres más que contestaron que no sabían (cuadro 13).

La mayoría de las respuestas indicaron la presencia de sequía en más de cinco de los últimos diez años (cuadro 14), lo cual sugiere que a lo largo de la última década —y a la fecha de la preparación del presente informe—, en numerosas áreas con clima seco en América del Norte fueron más los años en que se experimentaron sequías que aquellos en los que no se registró ningún episodio.

La duración de una sequía típica osciló entre uno y más de doce meses. Ninguno de los participantes reportó sequías con una duración de menos de un mes en ninguna de las zonas climáticas del grupo B. La mayoría de las respuestas —a excepción de las correspondientes a la zona BW— indicaron que, en términos generales, los episodios tuvieron una duración de seis meses o más en cada zona climática, por lo que se les considera de largo plazo. Para la zona BW, las respuestas se dividieron en la siguiente forma: siete indicaron que la sequía normalmente había durado menos de seis meses (de corto plazo) y seis apuntaron a sequías con una duración de seis meses o más en general (de largo plazo) (cuadro 15 y gráfica 8).

Factores que influyen en la selección de indicadores

La disponibilidad de datos pertinentes y requeridos fue el factor de mayor relevancia al momento de seleccionar indicadores para climas secos, sobre todo para las zonas climáticas BW, BWh, BS y BSh (más de 80 por ciento de quienes respondieron al cuestionario para estas zonas lo destacó como muy importante). Asimismo, la mayoría de los participantes consideraron la pertinencia del indicador en cuestión y la familiaridad con éste como factores —ambos— de suma importancia para todas las zonas climáticas secas. Cabe destacar que para la zona climática BSk un número mayor de respuestas (80 por

⁵ Heim, en correspondencia; Peel, Finlayson y McMahon, 2007.

ciento) apuntó a la pertinencia del indicador como un factor muy importante, en comparación con la disponibilidad de datos (cuadro 16).

La complejidad o dificultad de los cálculos requeridos fue un factor considerado como muy importante por aproximadamente 50 por ciento de los participantes en relación con las zonas climáticas BW, BWh y BSh, en tanto que aproximadamente 60 por ciento de los participantes percibió el historial de índices e indicadores utilizados previamente en el área o región de interés como muy importante para las zonas climáticas BS y BSk (cuadro 16).

Los factores más importantes al seleccionar indicadores en climas secos, enumerados por orden de importancia (de mayor a menor), fueron los siguientes:

- Disponibilidad de datos pertinentes y requeridos para calcular el índice o indicador
- Pertinencia del índice o indicador para el área o región de interés
- Familiaridad con el índice o indicador específico
- Complejidad o dificultad de los cálculos requeridos
- Historial de índices e indicadores utilizados previamente en el área o región de interés

Desempeño de los índices o indicadores

La mayoría de los participantes en el cuestionario convinieron en que los indicadores e índices utilizados *no* funcionan igualmente bien (no se desempeñan con la misma eficacia) en *toda* la extensión de las respectivas áreas geográficas de responsabilidad en zonas climáticas secas (cuadro 17, gráfica 9).

En la mayoría de los casos, asimismo, se respondió que dicha eficacia difiere entre una temporada y otra (es decir, los indicadores no resultan igualmente adecuados durante todas las estaciones del año). Aunque cabe señalar que para las zonas climáticas BW y BWh las opiniones estuvieron más cerca de dividirse equitativamente (cuadro 18, gráfica 10).

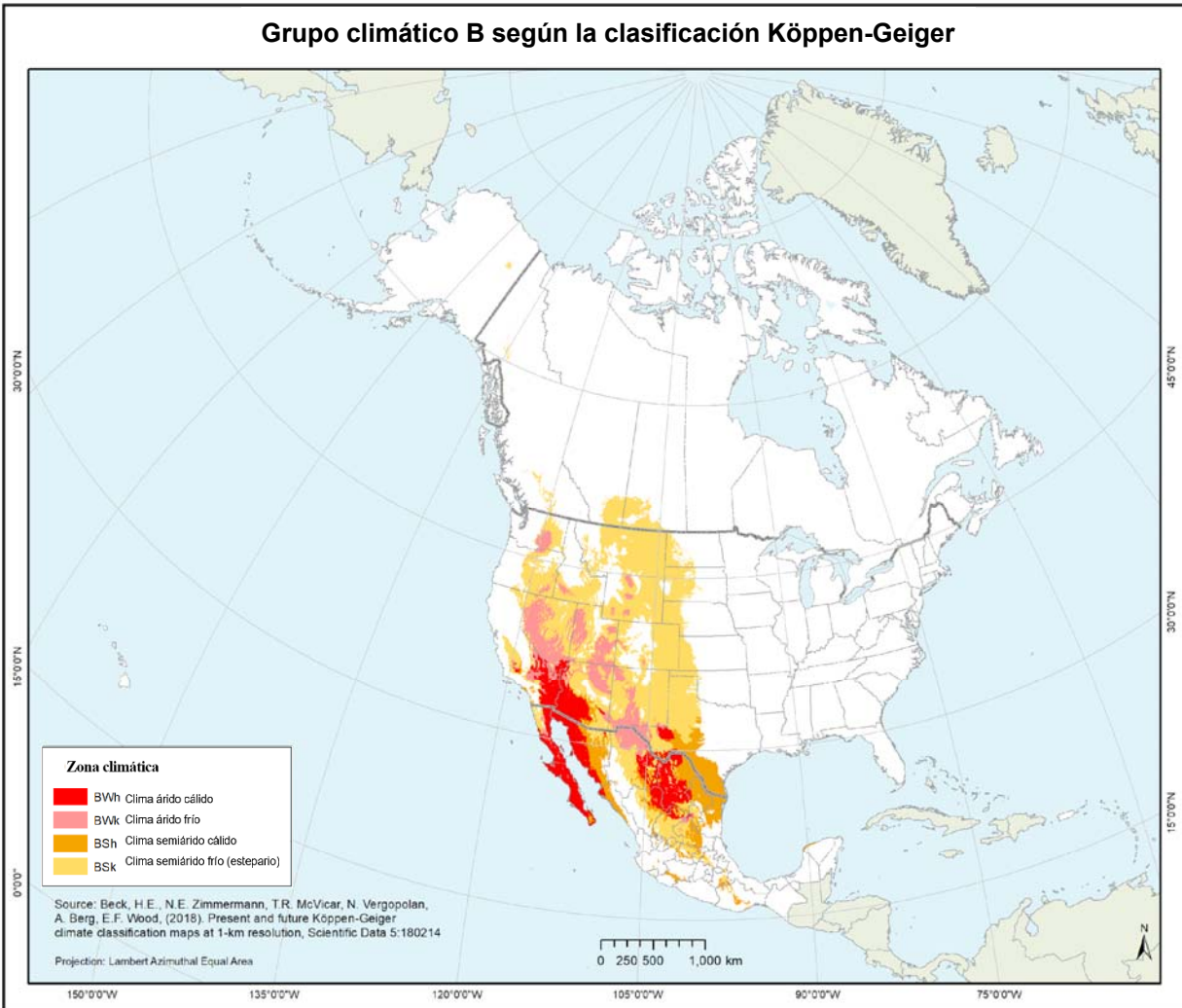
Índices e indicadores de sequía en climas secos en América del Norte

En términos generales, seis indicadores se calificaron como muy eficaces para monitorear sequías de corto plazo en climas secos, y cuatro para sequías de largo plazo (cuadro 19).

Dos indicadores —el SPI y el USDM— se calificaron como muy eficaces para sequías de corto y largo plazos en *todas* las zonas climáticas secas. El porcentaje de precipitación habitual (PNP) también recibió una calificación de muy eficaz para episodios de largo plazo en *todas* las zonas climáticas secas, y para sequías de corto plazo en las zonas BWk, BS, BSh y BSk (cuadro 19). El SPI y el USDM podrían considerarse los de mayor eficacia para monitorear sequías en climas secos en América del Norte.

Quince indicadores de sequía no incluidos en el manual de la OMM se calificaron como muy eficaces para el monitoreo de episodios de sequía en climas secos. De éstos, nueve se consideraron muy eficaces para *todas* las zonas climáticas secas. Dos indicadores —niveles de almacenamiento de embalses y humedad del suelo— destacan por haber recibido la calificación de muy eficaces por un promedio de 80 y 82 por ciento de los participantes, respectivamente. Los percentiles de precipitación, impactos de la sequía registrados y caudales o flujos de corriente también recibieron calificaciones altas, como muy eficaces, en al menos 70 por ciento de las respuestas, en promedio (cuadro 20).

Gráfica 7. Distribución de climas secos en América del Norte



Cuadro 12. Participantes en el cuestionario que trabajan activamente en climas secos, por país

| Zona climática | Canadá | Estados Unidos | México | Total |
|---------------------------------------|-----------|----------------|-----------|------------|
| BW: Clima árido (desértico) | - | 7 | 6 | 13 |
| BWh: Clima árido cálido | 1 | 15 | 5 | 21 |
| BWk: Clima árido frío | 2 | 19 | 5 | 26 |
| BS: Clima semiárido | 2 | 11 | 6 | 19 |
| BSh: Clima semiárido cálido | - | 10 | 7 | 17 |
| BSk: Clima semiárido frío (estepario) | 8 | 26 | 3 | 37 |
| Total | 13 | 88 | 32 | 133 |

Nota: Los datos indican el número de respuestas obtenidas.

Cuadro 13. Ocurrencia de sequía en climas secos, en los últimos diez años

| Zona climática | Sí | No | No sé |
|---------------------------------------|------------|----------|----------|
| BW: Clima árido (desértico) | 13 | - | - |
| BWh: Clima árido cálido | 21 | - | - |
| BWk: Clima árido frío | 25 | - | 1 |
| BS: Clima semiárido | 18 | - | 1 |
| BSh: Clima semiárido cálido | 16 | - | 1 |
| BSk: Clima semiárido frío (estepario) | 35 | 2 | - |
| Total | 128 | 2 | 3 |

Nota: Los datos indican el número de respuestas obtenidas.

Cuadro 14. Frecuencia de eventos de sequía en climas secos

| Zona climática | Frecuencia de eventos de sequía (en años) | | | |
|---------------------------------------|---|-----------|-----------|----------|
| | De 1 a 2 | De 3 a 5 | Más de 5 | No sé |
| BW: Clima árido (desértico) | - | 6 | 7 | - |
| BWh: Clima árido cálido | - | 7 | 14 | - |
| BWk: Clima árido frío | - | 8 | 16 | 1 |
| BS: Clima semiárido | 1 | 6 | 11 | - |
| BSh: Clima semiárido cálido | 2 | 3 | 11 | - |
| BSk: Clima semiárido frío (estepario) | 4 | 13 | 17 | 1 |
| Total | 7 | 43 | 76 | 2 |

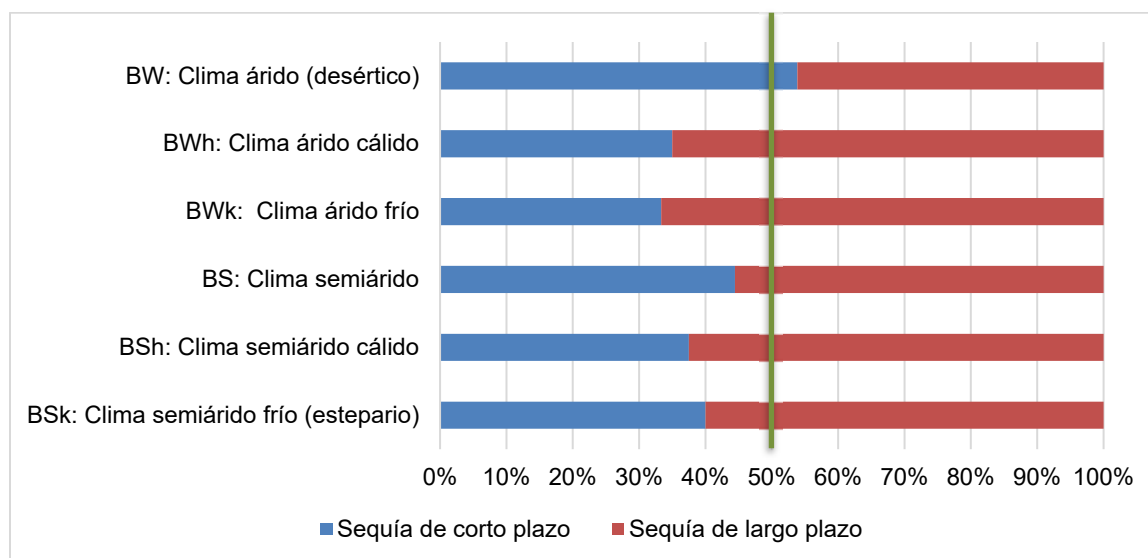
Nota: Los datos indican el número de respuestas obtenidas. La frecuencia de eventos de sequía se refiere a qué tan a menudo se experimentaron episodios de sequía en los últimos diez años.

Cuadro 15. Duración de la sequía típica en climas secos

| Zona climática | Duración de la sequía (en meses) | | | | Sequía de corto plazo | Sequía de largo plazo |
|---------------------------------------|----------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------------------|-----------------------|
| | De 1 a 3 | De 3 a 6 | De 6 a 12 | Más de 12 | | |
| BW: Clima árido (desértico) | 1 | 6 | 2 | 4 | 7 | 6 |
| BWh: Clima árido cálido | 2 | 5 | 4 | 9 | 7 | 13 |
| BWk: Clima árido frío | 2 | 6 | 6 | 10 | 8 | 16 |
| BS: Clima semiárido | 2 | 6 | 4 | 6 | 8 | 10 |
| BSh: Clima semiárido cálido | 2 | 4 | 4 | 6 | 6 | 10 |
| BSk: Clima semiárido frío (estepario) | 4 | 10 | 8 | 13 | 14 | 21 |
| Total | 13 | 37 | 28 | 48 | 50 | 76 |

Nota: Los datos indican el número de respuestas obtenidas. Es importante observar que los datos difirieron para episodios de sequía de largo y corto plazos. La sequía de corto plazo tiene una duración de menos de seis meses; la de largo plazo dura seis meses o más.

Gráfica 8. Duración de la sequía típica en climas secos: comparación entre corto y largo plazos



Cuadro 16. Factores que influyen en la elección de índices e indicadores en climas secos

| Factores | Zonas climáticas de Köppen | | | | | |
|--|----------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| | BW | BWh | BWk | BS | BSh | BSk |
| Disponibilidad de datos pertinentes y requeridos para calcular el índice o indicador | 91% | 88% | 70% | 88% | 83% | 63% |
| Complejidad o dificultad de los cálculos requeridos | 55% | 53% | - | - | 50% | - |
| Pertinencia del índice o indicador para el área o región de interés | 73% | 76% | 75% | 81% | 75% | 80% |
| Familiaridad con el índice o indicador específico | 64% | 76% | 65% | 69% | 58% | 63% |
| Historial de índices e indicadores utilizados previamente en el área o región de interés | - | - | - | 63% | - | 60% |
| Número de respuestas | 11 | 17 | 20 | 16 | 12 | 30 |

Nota: Los datos indican los casos donde al menos 50 por ciento de los participantes calificaron el factor como muy importante para la respectiva zona climática. BW: clima árido (desértico); BWh: clima árido cálido; BWk: clima árido frío; BS: clima semiárido; BSh: clima semiárido cálido, y BSk: clima semiárido frío (estepario).

Cuadro 17. Desempeño de los indicadores en toda el área geográfica de interés en climas secos

| Zona climática | Los índices e indicadores se desempeñan con la misma eficacia | Los índices e indicadores <u>no</u> se desempeñan con la misma eficacia |
|---------------------------------------|---|---|
| BW: Clima árido (desértico) | 2 | 9 |
| BWh: Clima árido cálido | 5 | 12 |
| BWk: Clima árido frío | 5 | 15 |
| BS: Clima semiárido | 4 | 12 |
| BSh: Clima semiárido cálido | 3 | 9 |
| BSk: Clima semiárido frío (estepario) | 7 | 23 |
| Total | 26 | 80 |

Nota: Los datos indican el número de respuestas obtenidas.

Cuadro 18. Desempeño de los indicadores en distintas temporadas en climas secos

| Zona climática | Los índices e indicadores se desempeñan con la misma eficacia | Los índices e indicadores <u>no</u> se desempeñan con la misma eficacia |
|---------------------------------------|---|---|
| BW: Clima árido (desértico) | 5 | 6 |
| BWh: Clima árido cálido | 8 | 9 |
| BWk: Clima árido frío | 7 | 13 |
| BS: Clima semiárido | 7 | 9 |
| BSh: Clima semiárido cálido | 4 | 8 |
| BSk: Clima semiárido frío (estepario) | 10 | 20 |
| Total | 41 | 65 |

Nota: Los datos indican el número de respuestas obtenidas.

Cuadro 19. Índices e indicadores más eficaces para sequía en climas secos

(a) Indicadores más eficaces para sequía de corto plazo en climas secos

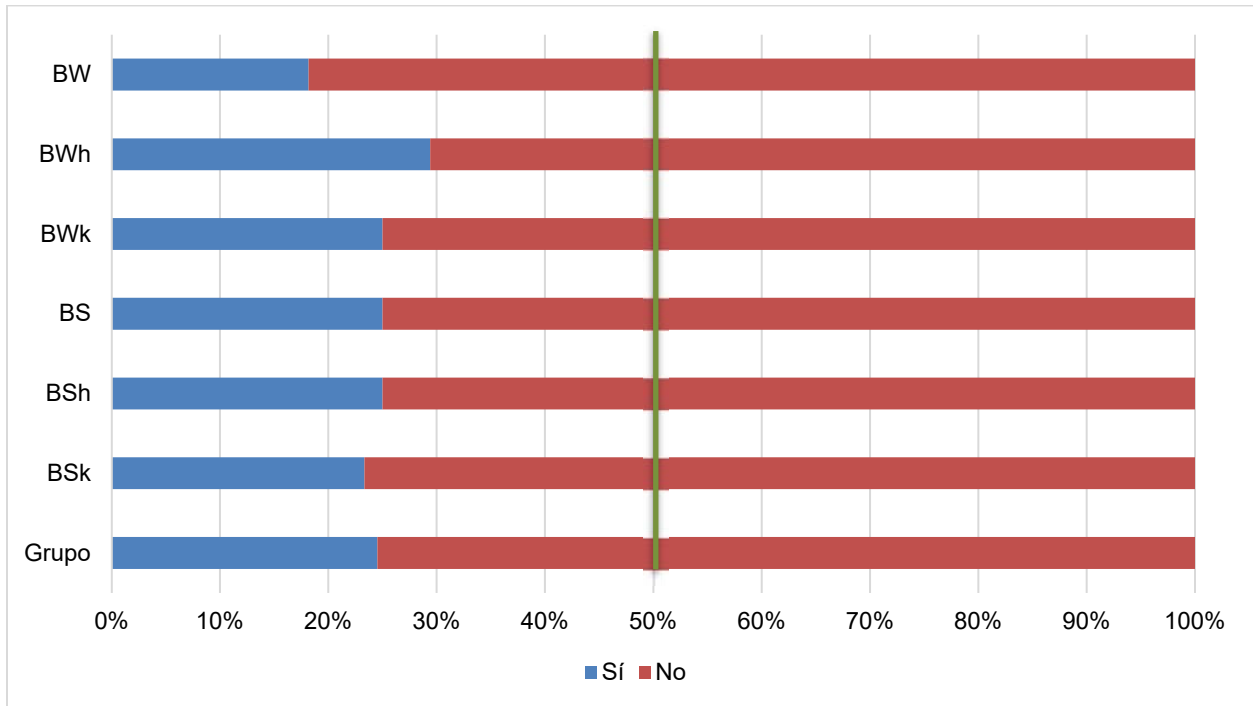
| Categoría | Indicador | Zonas climáticas de Köppen | | | | | |
|--------------------|---|----------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | BW | BWh | BWk | BS | BSh | BSk |
| Meteorología | Porcentaje de precipitación habitual (PNP) | - | - | 60% | 50% | 50% | 59% |
| | Índice Estandarizado de Precipitación y Evapotranspiración (SPEI) | 54% | 55% | - | 56% | 63% | - |
| | Índice Estandarizado de Precipitación (SPI) | 62% | 70% | 64% | 61% | 81% | 62% |
| | Número de respuestas | 13 | 20 | 25 | 18 | 16 | 34 |
| Teledetección | Índice Diferencial Normalizado de Vegetación (NDVI) | 75% | 61% | - | 50% | 58% | - |
| | Índice de Respuesta a la Sequía de la Vegetación (VegDRI) | 58% | 50% | - | - | 67% | - |
| | Número de respuestas | 12 | 18 | 21 | 16 | 12 | 31 |
| Mixtos o modelados | Monitor de Sequía de Estados Unidos (USDM) | 67% | 67% | 67% | 63% | 75% | 71% |
| | Número de respuestas | 12 | 18 | 21 | 16 | 12 | 31 |

(b) Indicadores más eficaces para sequía de largo plazo en climas secos

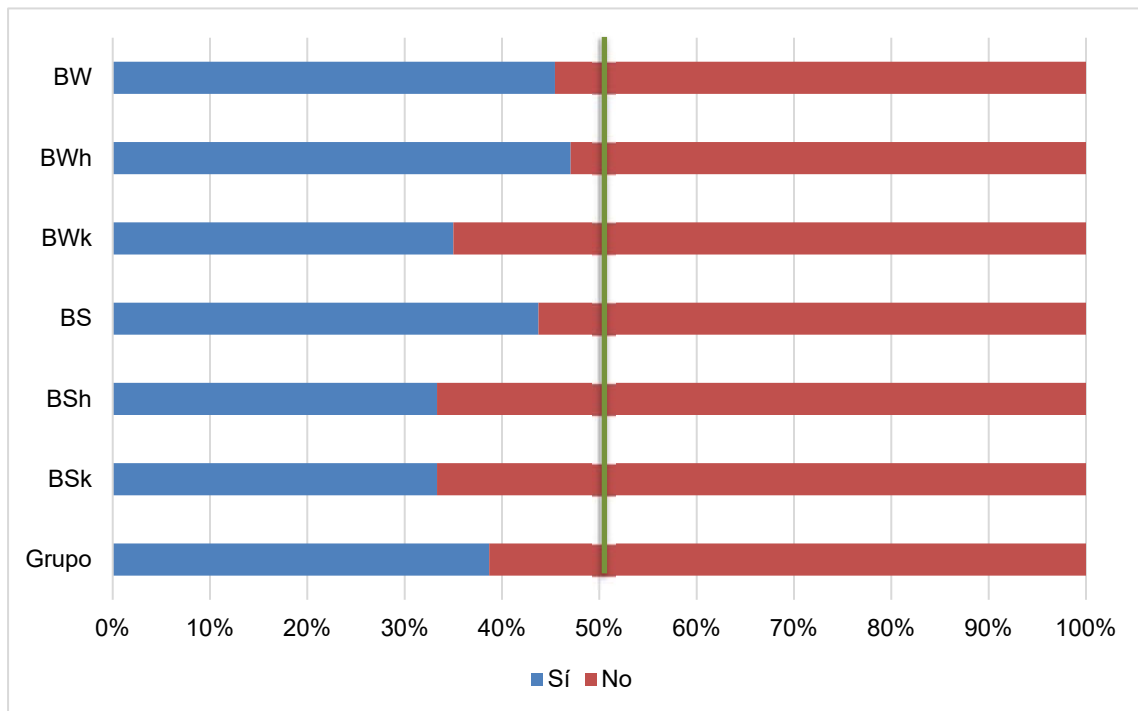
| Categoría | Indicador | Zonas climáticas de Köppen | | | | | |
|--------------------|---|----------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | BW | BWh | BWk | BS | BSh | BSk |
| Meteorología | Porcentaje de precipitación habitual (PNP) | 55% | 61% | 61% | 63% | 57% | 58% |
| | Índice Estandarizado de Precipitación y Evapotranspiración (SPEI) | 55% | - | - | 50% | 57% | - |
| | Índice Estandarizado de Precipitación (SPI) | 64% | 67% | 65% | 63% | 86% | 55% |
| | Número de respuestas | 11 | 18 | 23 | 16 | 14 | 33 |
| Mixtos o modelados | Monitor de Sequía de Estados Unidos (USDM) | 64% | 53% | 65% | 60% | 64% | 72% |
| | Número de respuestas | 11 | 17 | 20 | 15 | 11 | 29 |

Notas: Los datos indican los casos donde al menos 50 por ciento de los participantes calificaron el indicador como muy importante para la respectiva zona climática. La sequía de corto plazo tiene una duración de menos de seis meses; la de largo plazo dura seis meses o más. BW: clima árido (desértico); BWh: clima árido cálido; BWk: clima árido frío; BS: clima semiárido; BSh: clima semiárido cálido, y BSk: clima semiárido frío (estepario).

Gráfica 9. ¿Se desempeñan los indicadores con la misma eficacia en distintas áreas geográficas en climas secos?



Gráfica 10. ¿Se desempeñan los indicadores con la misma eficacia en distintas temporadas en climas secos?



Cuadro 20. Índices e indicadores no incluidos en el manual de la OMM de mayor eficacia para el monitoreo de sequías en climas secos

| Indicador | Zonas climáticas de Köppen | | | | | |
|--|----------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| | BW | BWh | BWk | BS | BSh | BSk |
| Pronósticos de 30 días | - | - | - | 50% | - | - |
| Situación o estado de los cultivos | 64% | 59% | 75% | 63% | 58% | 77% |
| Profundidad (nivel) del agua subterránea | 64% | 65% | 50% | 50% | 58% | - |
| Precipitación fuera de lo normal | - | - | 60% | 63% | - | 70% |
| Percentiles de precipitación | 73% | 82% | 65% | 63% | 67% | 70% |
| Rangos o pautas de precipitación | 55% | 53% | 55% | - | 50% | 50% |
| Impactos de la sequía registrados | 73% | 76% | 70% | 75% | 67% | 83% |
| Almacenamiento de embalses | 73% | 88% | 80% | 81% | 83% | 77% |
| Humedad del suelo | 82% | 88% | 90% | 75% | 67% | 90% |
| Caudales o flujos de corriente | 73% | 76% | 75% | 75% | 58% | 70% |
| Temperaturas fuera de lo normal | 55% | 59% | 60% | 63% | - | 73% |
| Rangos de temperatura | 64% | 65% | 55% | 50% | 67% | 57% |
| Verdor de la vegetación | 73% | 71% | 65% | 56% | 75% | 60% |
| Consumo (demanda) de agua | 64% | 65% | 55% | 63% | 50% | 53% |
| Ubicación e informes de incendios forestales | 55% | 59% | - | 50% | 50% | - |
| Número de respuestas | 11 | 17 | 20 | 16 | 12 | 30 |

Notas: Los datos indican los casos donde al menos 50 por ciento de los participantes calificaron el indicador como muy importante para la respectiva zona climática. BW: clima árido (desértico); BWh: clima árido cálido; BWk: clima árido frío; BS: clima semiárido; BSh: clima semiárido cálido, y BSk: clima semiárido frío (estepario).

Grupo C: Climas templados en la clasificación climática de Köppen

Sequía en climas templados en América del Norte

El grupo climático C se caracteriza por registrar temperaturas superiores a los 10 °C durante el mes más cálido, y de menos de 18 °C, pero por encima de los 0 °C, en el mes más frío. En función del régimen de precipitación estacional y sus temperaturas extremas, el grupo comprende las siguientes once zonas climáticas:⁶

- Cs: Clima mediterráneo
- Csa: Clima mediterráneo de verano cálido
- Csb: Clima mediterráneo de verano suave
- Cw: Clima templado subhúmedo (con inviernos secos)
- Cwa: Clima subtropical de invierno seco (oceánico cálido)
- Cwb: Clima templado de montaña con invierno seco
- Cwc: Clima subalpino (frío) subhúmedo de alta montaña (oceánico subpolar)
- Cf: Clima templado húmedo
- Cfa: Clima subtropical húmedo
- Cfb: Clima oceánico templado (húmedo de montaña)
- Cfc: Clima oceánico frío (subpolar)

En América del Norte, el grupo climático C de Köppen abarca la región central de México, la costa oeste y la parte sur de las Grandes Llanuras hacia el sureste de Estados Unidos, y la costa oeste de Canadá (gráfica 11).

De las 164 respuestas al cuestionario, 116 participantes informaron que el área geográfica bajo su responsabilidad comprende regiones del grupo climático C de Köppen, con 51 por ciento ($n = 59$) distribuido entre las zonas climáticas Csa, Csb y Cfa. Siete participantes fueron de Canadá, 80 de Estados Unidos y 29 de México (cuadro 21).

Prácticamente todos los participantes cuya labor se relaciona con el grupo climático C indicaron que sus respectivas áreas de responsabilidad habían experimentado sequía en los diez años previos. Ninguno señaló ausencia absoluta de sequía, pero cuatro de ellos dijeron no saber (cuadro 22).

Más de la mitad de los participantes en el cuestionario cuya labor se relaciona con regiones de climas templados indicó que se habían registrado episodios de sequía en más de cinco de los últimos diez años. Lo mismo se aplica para cada subzona climática templada, a excepción de la zona Csb (clima mediterráneo de verano suave), para la cual un mayor número de participantes reportó sequías en entre tres y cinco años de los últimos diez (cuadro 23). Todo ello sugiere que a lo largo de la última década —y a la fecha de la preparación del presente informe—, en numerosas áreas con clima templado en América del Norte fueron más los años en que se experimentaron sequías que aquellos en los que no se registró ningún episodio.

La duración de las sequías fue de entre uno y más de doce meses. En ninguna de las respuestas obtenidas se indicó que la sequía durara menos de un mes en ninguna de las zonas climáticas del grupo C. En términos generales, una pequeña mayoría (54 por ciento) de los participantes en el cuestionario reportó que la sequía típica había tenido una duración de seis meses o más (largo plazo). La duración de una sequía típica varió considerablemente entre las distintas zonas climáticas. Para las zonas Cw, Cwb, Cf y Cfa, la mayoría de los participantes señaló que las sequías típicas duraron *menos* de seis meses (corto plazo); en cambio, para las zonas Cs, Csa, Csb y Cfc, la mayoría de las respuestas apuntaron a sequías típicas con una duración de *más* de seis meses (largo plazo). La prevalencia de episodios de largo plazo fue especialmente evidente para la zona Csa, donde 13 de 18 participantes respondieron que la sequía

⁶ Heim, en correspondencia; Peel, Finlayson y McMahon, 2007.

típica duraba más de doce meses. En las zonas Cwa, Cwc y Cfb, las respuestas se dividieron en forma pareja entre sequías típicas de corto y de largo plazos (cuadro 24, gráfica 12).

Factores que influyen en la selección de indicadores

La pertinencia del indicador para el área o región de interés fue el factor más importante al momento de seleccionar indicadores para climas templados. Para todas y cada una de las zonas climáticas templadas, la mayoría de los participantes señaló dicho factor como muy importante, y no hubo ningún otro factor que recibiera tal calificación para *todas* las zonas climáticas. Cabe destacar que en 80 por ciento o más de las respuestas se identificó la disponibilidad de datos pertinentes y requeridos como factor de suma importancia para las zonas climáticas Cs, Cfb y Cfc; el historial de indicadores utilizados previamente en el área o región de interés, para las zonas Cfb y Cfc, y la complejidad o dificultad de los cálculos requeridos, para la zona Cw (cuadro 25).

Los factores más importantes al seleccionar indicadores en climas templados, listados en orden de importancia (de mayor a menor), fueron los siguientes:

- Pertinencia del índice o indicador para el área o región de interés
- Disponibilidad de datos pertinentes y requeridos para calcular el índice o indicador
- Historial de índices e indicadores utilizados previamente en el área o región de interés
- Complejidad o dificultad de los cálculos requeridos
- Familiaridad con el índice o indicador específico

Desempeño de los índices o indicadores

Los participantes en el cuestionario señalaron que los índices o indicadores *no* se desempeñan con la misma eficacia en *toda* la extensión de las respectivas áreas geográficas de responsabilidad en ocho zonas climáticas templadas (Cs, Csa, Csb, Cw, Cwb, Cf, Cfa y Cfb), pero *sí* resultan igualmente adecuados (tienen la misma eficacia de desempeño) en tres (Cwa, Cwc y Cfc). Cabe destacar, sin embargo, que en la mayoría de los casos, las opiniones se dividieron casi por igual (entre el sí y el no), con excepción de las zonas Cf y Cfa, para las cuales una clara mayoría coincidió en su respuesta negativa (cuadro 26, gráfica 13).

Las respuestas fueron similares, aunque no idénticas, en relación con el desempeño de los índices o indicadores en las distintas temporadas. Los participantes reportaron la misma eficacia de los indicadores entre una temporada y otra, sólo para la zona Cwa, aunque únicamente por un margen de 3:2. Las opiniones estuvieron divididas en partes iguales para la zona Csa, en tanto que para las demás zonas climáticas templadas, en la mayoría de las respuestas se señaló que dicha eficacia difiere entre una temporada y otra (es decir, los indicadores *no* resultan igualmente adecuados durante todas las estaciones del año). Para las zonas Cs, Csa, Cwa, Cwb, Cwc y Cfc, las opiniones se dividieron por igual, o casi por igual; sin embargo, para las zonas climáticas Csb, Cw, Cf, Cfa y Cfb una clara mayoría coincidió en su respuesta negativa (cuadro 27, gráfica 14).

Índices e indicadores de sequía en climas templados en América del Norte

En términos generales, 26 indicadores se calificaron como muy eficaces para monitorear sequías de corto plazo en climas templados, y diez para episodios de largo plazo. La diversidad de respuestas en el cuestionario y la cantidad (relativamente) grande de zonas de clima templado generaron un conjunto disperso de resultados (cuadros 28 y 29). No obstante, cabe destacar que muchos de los indicadores se consideraron muy eficaces en sólo 50 por ciento de las respuestas.

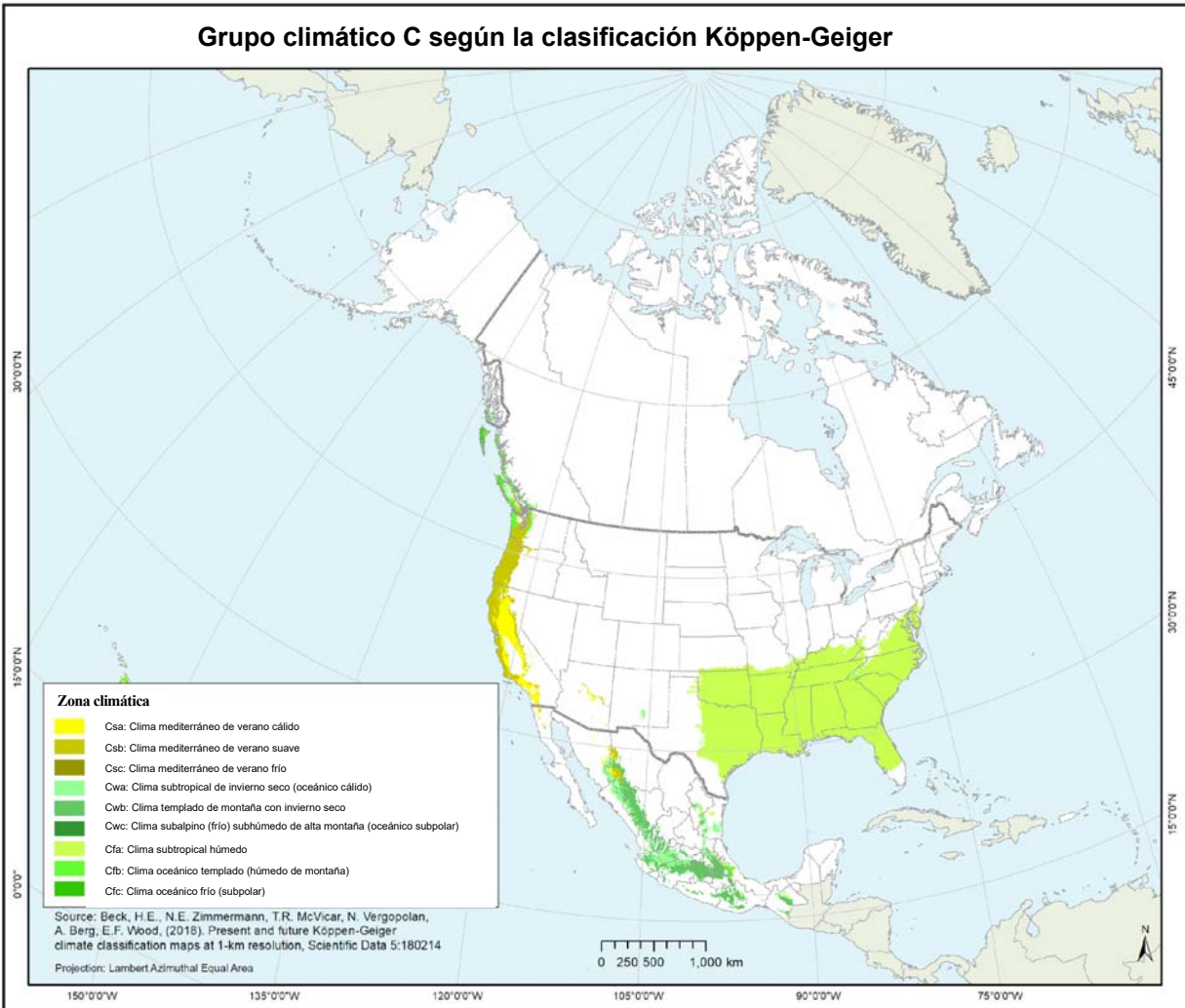
El Monitor de Sequía de Estados Unidos (USDMS) fue el único indicador calificado como muy eficaz para sequías de corto plazo en *todas* las zonas climáticas templadas (cuadro 28), pero no así para sequías de largo plazo en las zonas Cs, Csa, Csb y Cwa (cuadro 29).

Tres indicadores distintos se calificaron como muy eficaces para sequías de corto plazo en la mayoría de las zonas climáticas templadas, a saber: el porcentaje de precipitación habitual (PNP), el Índice Estandarizado de Precipitación y Evapotranspiración (SPEI) y el Índice Estandarizado de Precipitación (SPI). Los resultados para estos tres indicadores se traslapan de tal manera que, aunque ninguno resulta muy eficaz para *todas* las zonas climáticas templadas, al menos uno de los tres se desempeña con gran eficacia para cada zona. El Índice Diferencial Normalizado de Vegetación (NDVI) recibió calificaciones especialmente elevadas para las zonas climáticas Cw y Cwb (cuadro 28).

Para el monitoreo de sequías de largo plazo, ninguno de los índices o indicadores se calificó como muy eficaz en *todas* las zonas climáticas templadas, así como tampoco se registró indicador alguno que lo fuera para la zona Csb. El SPI se calificó como muy eficaz para todas las zonas, a excepción de la Csb y la Cfc, y el USDM fue el único indicador así calificado para la zona climática Cfc (cuadro 29). Por ello, a pesar de no considerarse el USDM como muy eficaz para sequías de largo plazo en *todas* las zonas climáticas templadas, puede afirmarse que, empleados en conjunto, el SPI y el USDM cubren la mayoría de las zonas de clima templado para sequías de largo plazo.

Los participantes calificaron 19 índices o indicadores de sequía no incluidos en el manual de la OMM como muy eficaces para el monitoreo de sequías en climas templados, cuatro de éstos para la totalidad de las zonas climáticas templadas, a saber: niveles de almacenamiento de embalses (79 por ciento de las respuestas), humedad del suelo (73%), situación o estado de los cultivos (72%), y caudales o flujos de corriente (cuadro 30).

Gráfica 11. Distribución de climas templados en América del Norte



Cuadro 21. Participantes en el cuestionario que trabajan activamente en climas templados, por país

| Zona climática | Canadá | Estados Unidos | México | Total |
|---|----------|----------------|-----------|------------|
| Cs: Clima mediterráneo | - | 4 | 2 | 6 |
| Csa: Clima mediterráneo de verano cálido | - | 17 | 2 | 19 |
| Csb: Clima mediterráneo de verano suave | 3 | 12 | 3 | 18 |
| Cw: Clima templado subhúmedo (con inviernos secos) | - | 3 | 5 | 8 |
| Cwa: Clima subtropical de invierno seco (oceánico cálido) | - | 5 | 1 | 6 |
| Cwb: Clima templado de montaña con invierno seco | - | 3 | 5 | 8 |
| Cwc: Clima subalpino (frío) subhúmedo de alta montaña (oceánico subpolar) | - | 3 | 1 | 4 |
| Cf: Clima templado húmedo | - | 6 | 5 | 11 |
| Cfa: Clima subtropical húmedo | 1 | 17 | 4 | 22 |
| Cfb: Clima oceánico templado (húmedo de montaña) | 2 | 5 | 1 | 8 |
| Cfc: Clima oceánico frío (subpolar) | 1 | 5 | - | 6 |
| Total | 7 | 80 | 29 | 116 |

Nota: Los datos indican el número de respuestas obtenidas.

Cuadro 22. Ocurrencia de sequía en climas templados, en los últimos diez años

| Zona climática | Sí | No | No sé |
|---|------------|----------|----------|
| Cs: Clima mediterráneo | 6 | - | - |
| Csa: Clima mediterráneo de verano cálido | 19 | - | - |
| Csb: Clima mediterráneo de verano suave | 17 | - | 1 |
| Cw: Clima templado subhúmedo (con inviernos secos) | 7 | - | 1 |
| Cwa: Clima subtropical de invierno seco (oceánico cálido) | 6 | - | - |
| Cwb: Clima templado de montaña con invierno seco | 7 | - | 1 |
| Cwc: Clima subalpino (frío) subhúmedo de alta montaña (oceánico subpolar) | 4 | - | - |
| Cf: Clima templado húmedo | 11 | - | - |
| Cfa: Clima subtropical húmedo | 21 | - | 1 |
| Cfb: Clima oceánico templado (húmedo de montaña) | 8 | - | - |
| Cfc: Clima oceánico frío (subpolar) | 6 | - | - |
| Total | 112 | - | 4 |

Nota: Los datos indican el número de respuestas obtenidas.

Cuadro 23. Frecuencia de eventos de sequía en climas templados

| Zona climática | Frecuencia de eventos de sequía (en años) | | | |
|---|---|-----------|-----------|----------|
| | De 1 a 2 | De 3 a 5 | Más de 5 | No sé |
| Cs: Clima mediterráneo | - | 1 | 5 | - |
| Csa: Clima mediterráneo de verano cálido | 1 | 6 | 11 | 1 |
| Csb: Clima mediterráneo de verano suave | 2 | 9 | 6 | - |
| Cw: Clima templado subhúmedo (con inviernos secos) | 2 | 2 | 3 | - |
| Cwa: Clima subtropical de invierno seco (oceánico cálido) | 1 | 1 | 4 | - |
| Cwb: Clima templado de montaña con invierno seco | - | 3 | 4 | - |
| Cwc: Clima subalpino (frío) subhúmedo de alta montaña (oceánico subpolar) | 1 | 1 | 2 | - |
| Cf: Clima templado húmedo | 2 | 3 | 6 | - |
| Cfa: Clima subtropical húmedo | 5 | 5 | 10 | 1 |
| Cfb: Clima oceánico templado (húmedo de montaña) | 1 | 2 | 5 | - |
| Cfc: Clima oceánico frío (subpolar) | 1 | 2 | 3 | - |
| Total | 16 | 35 | 59 | 2 |

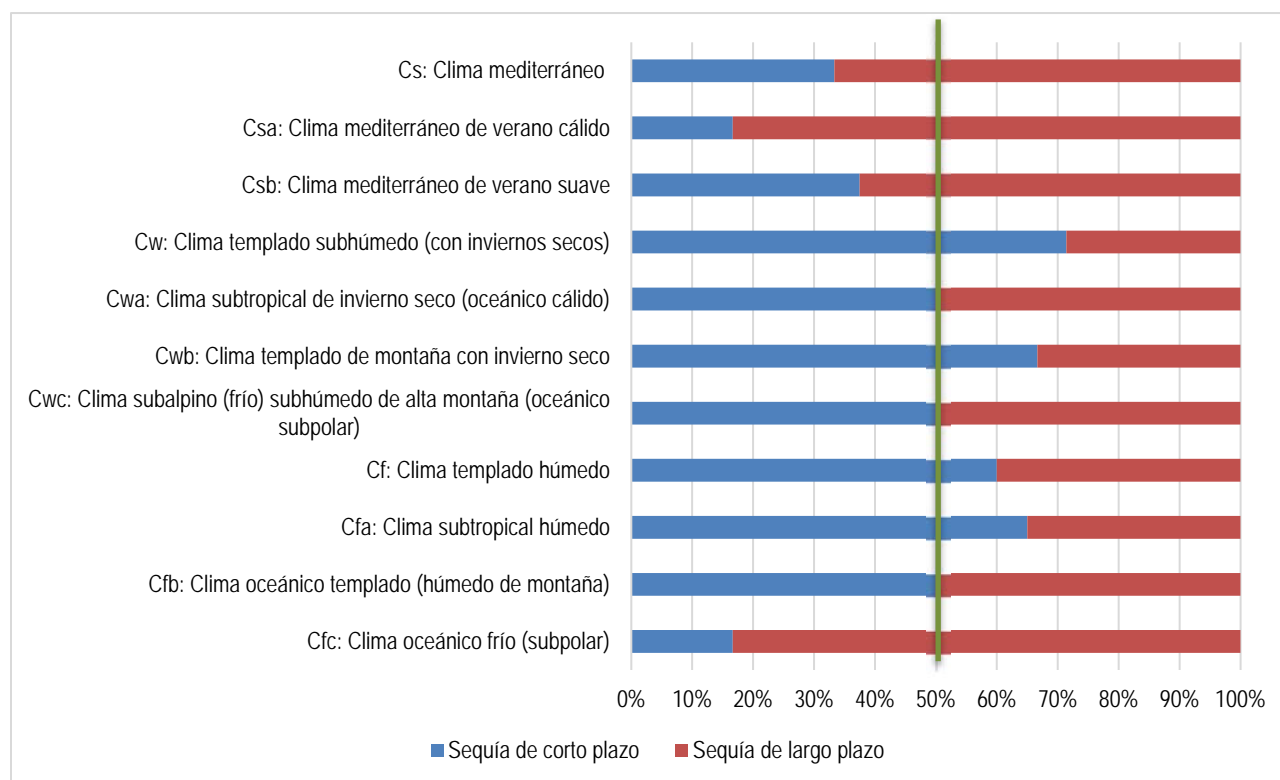
Notas: Los datos indican el número de respuestas obtenidas. La frecuencia de eventos de sequía se refiere a qué tan a menudo se experimentaron episodios de sequía en los últimos diez años.

Cuadro 24. Duración de la sequía típica en climas templados

| Zona climática | Duración de la sequía (en meses) | | | | Sequía de corto plazo | Sequía de largo plazo |
|---|----------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------------------|-----------------------|
| | De 1 a 3 | De 3 a 6 | De 6 a 12 | Más de 12 | | |
| Cs: Clima mediterráneo | - | 2 | 2 | 2 | 2 | 4 |
| Csa: Clima mediterráneo de verano cálido | - | 3 | 2 | 13 | 3 | 15 |
| Csb: Clima mediterráneo de verano suave | 1 | 5 | 4 | 6 | 6 | 10 |
| Cw: Clima templado subhúmedo (con inviernos secos) | 1 | 4 | 1 | 1 | 5 | 2 |
| Cwa: Clima subtropical de invierno seco (oceánico cálido) | 1 | 2 | 1 | 2 | 3 | 3 |
| Cwb: Clima templado de montaña con invierno seco | - | 4 | 1 | 1 | 4 | 2 |
| Cwc: Clima subalpino (frío) subhúmedo de alta montaña (oceánico subpolar) | - | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 |
| Cf: Clima templado húmedo | 2 | 4 | 3 | 1 | 6 | 4 |
| Cfa: Clima subtropical húmedo | 4 | 9 | 5 | 2 | 13 | 7 |
| Cfb: Clima oceánico templado (húmedo de montaña) | 1 | 3 | 3 | 1 | 4 | 4 |
| Cfc: Clima oceánico frío (subpolar) | - | 1 | 4 | 1 | 1 | 5 |
| Total | 10 | 39 | 27 | 31 | 49 | 58 |

Notas: Los datos indican el número de respuestas obtenidas. Es importante observar que los datos difirieron para episodios de sequía de largo y corto plazos. La sequía de corto plazo tiene una duración de menos de seis meses; la de largo plazo dura seis meses o más.

Gráfica 12. Duración de la sequía típica en climas templados: comparación entre corto y largo plazos



Cuadro 25. Factores que influyen en la elección de índices e indicadores en climas templados

| Factores | Zonas climáticas de Köppen | | | | | | | | | | | |
|--|----------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|
| | Cs | Csa | Csb | Cw | Cwa | Cwb | Cwc | Cf | Cfa | Cfb | Cfc | |
| Disponibilidad de datos pertinentes y requeridos para calcular el índice o indicador | 80% | 75% | 69% | 60% | 60% | 57% | - | 50% | 50% | 86% | 80% | |
| Complejidad o dificultad de los cálculos requeridos | 60% | - | - | 80% | - | 57% | - | 50% | - | 57% | - | |
| Pertinencia del índice o indicador para el área o región de interés | 80% | 81% | 69% | 60% | 80% | 57% | 67% | 75% | 72% | 86% | 80% | |
| Familiaridad con el índice o indicador específico | 60% | 69% | - | - | - | - | - | 50% | 61% | 57% | - | |
| Historial de índices e indicadores utilizados previamente en el área o región de interés | 60% | 56% | - | - | - | - | - | 50% | 50% | 86% | 80% | |
| Número de respuestas | 5 | 16 | 13 | 5 | 5 | 7 | 3 | 8 | 18 | 7 | 5 | |

Notas: Los datos indican los casos donde al menos 50 por ciento de los participantes calificaron el factor como muy importante para la respectiva zona climática. Cs: clima mediterráneo; Csa: clima mediterráneo de verano cálido; Csb: clima mediterráneo de verano suave; Cw: clima templado subhúmedo (con inviernos secos); Cwa: clima subtropical de invierno seco (oceánico cálido); Cwb: clima templado de montaña con invierno seco; Cwc: Clima subalpino (frío) subhúmedo de alta montaña (oceánico subpolar); Cf: Clima templado húmedo; Cfa: Clima subtropical húmedo; Cfb: Clima oceánico templado (húmedo de montaña), y Cfc: Clima oceánico frío (subpolar).

Cuadro 26. Desempeño de los indicadores en toda el área geográfica de interés en climas templados

| Zona climática | Los índices e indicadores se desempeñan con la misma eficacia | Los índices e indicadores <u>no</u> se desempeñan con la misma eficacia |
|---|---|---|
| Cs: Clima mediterráneo | 2 | 3 |
| Csa: Clima mediterráneo de verano cálido | 7 | 9 |
| Csb: Clima mediterráneo de verano suave | 6 | 7 |
| Cw: Clima templado subhúmedo (con inviernos secos) | 2 | 3 |
| Cwa: Clima subtropical de invierno seco (oceánico cálido) | 3 | 2 |
| Cwb: Clima templado de montaña con invierno seco | 2 | 5 |
| Cwc: Clima subalpino (frío) subhúmedo de alta montaña (oceánico subpolar) | 2 | 1 |
| Cf: Clima templado húmedo | 2 | 6 |
| Cfa: Clima subtropical húmedo | 5 | 13 |
| Cfb: Clima oceánico templado (húmedo de montaña) | 3 | 4 |
| Cfc: Clima oceánico frío (subpolar) | 3 | 2 |
| Total | 37 | 55 |

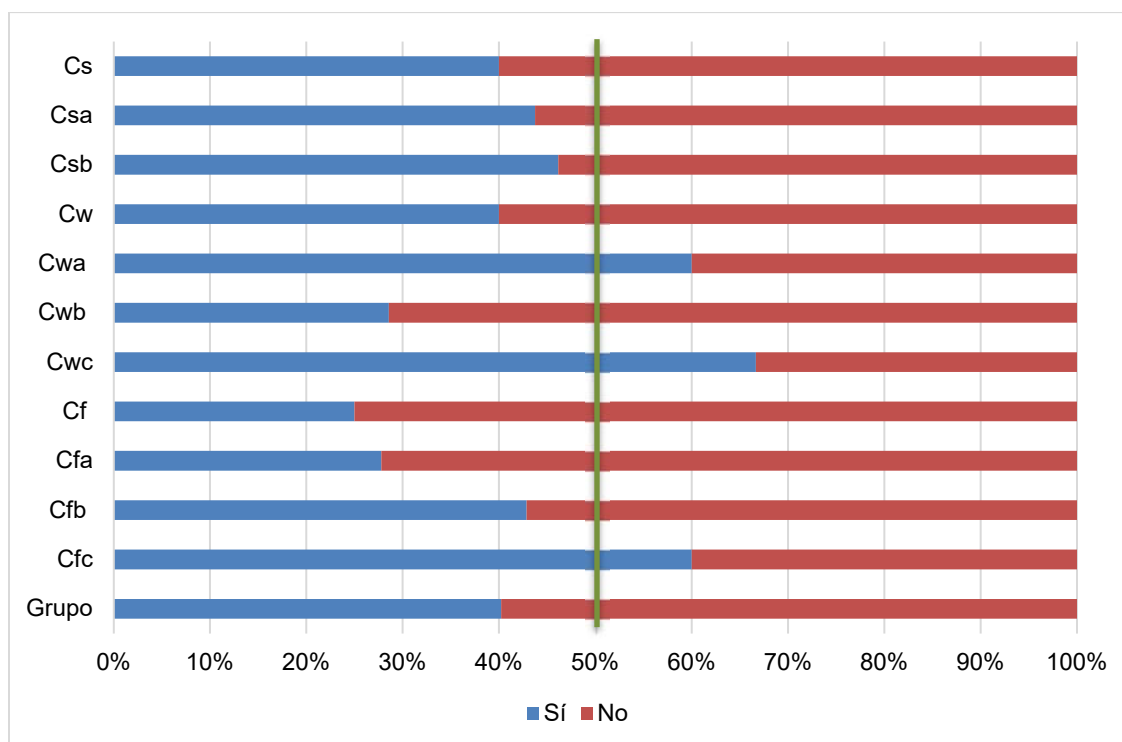
Nota: Los datos indican el número de respuestas obtenidas.

Cuadro 27. Desempeño de los indicadores en distintas temporadas en climas templados

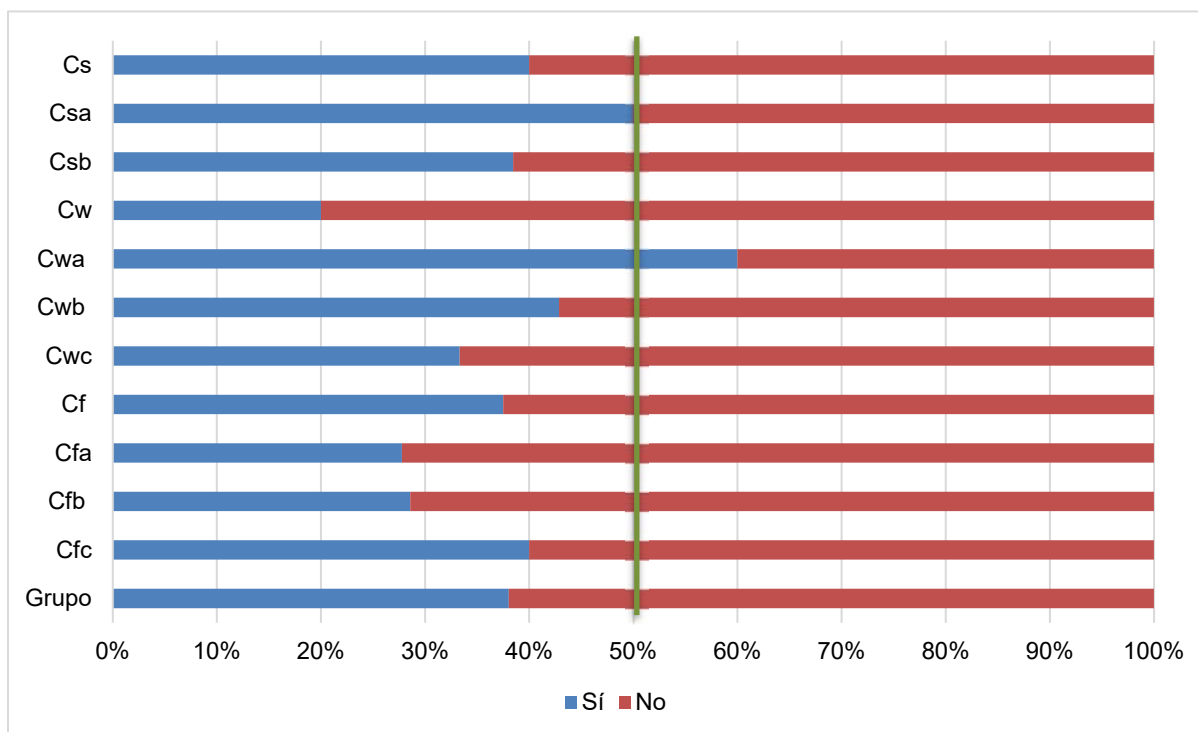
| Zona climática | Los índices e indicadores se desempeñan con la misma eficacia | Los índices e indicadores <u>no</u> se desempeñan con la misma eficacia |
|---|---|---|
| Cs: Clima mediterráneo | 2 | 3 |
| Csa: Clima mediterráneo de verano cálido | 8 | 8 |
| Csb: Clima mediterráneo de verano suave | 5 | 8 |
| Cw: Clima templado subhúmedo (con inviernos secos) | 1 | 4 |
| Cwa: Clima subtropical de invierno seco (oceánico cálido) | 3 | 2 |
| Cwb: Clima templado de montaña con invierno seco | 3 | 4 |
| Cwc: Clima subalpino (frío) subhúmedo de alta montaña (oceánico subpolar) | 1 | 2 |
| Cf: Clima templado húmedo | 3 | 5 |
| Cfa: Clima subtropical húmedo | 5 | 13 |
| Cfb: Clima oceánico templado (húmedo de montaña) | 2 | 5 |
| Cfc: Clima oceánico frío (subpolar) | 2 | 3 |
| Total | 35 | 57 |

Nota: Los datos indican el número de respuestas obtenidas.

Gráfica 13. ¿Se desempeñan los indicadores con la misma eficacia en distintas áreas geográficas en climas templados?



Gráfica 14. ¿Se desempeñan los indicadores con la misma eficacia en distintas temporadas en climas templados?



Cuadro 28. Índices e indicadores de mayor eficacia para sequías de corto plazo en climas templados

| Categoría | Indicador | Zonas climáticas de Köppen | | | | | | | | | | |
|-------------------|---|----------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | Cs | Csa | Csb | Cw | Cwa | Cwb | Cwc | Cf | Cfa | Cfb | Cfc |
| Meteorología | Índice de Humedad de los Cultivos (CMI) | 67% | - | - | 50% | 50% | 63% | 75% | 50% | 45% | - | - |
| | Índice de Sequía Específico para Cultivos (CSDI) | - | - | - | 50% | - | 50% | - | - | - | - | - |
| | Índice de Zonas de Sequía (DAI) | - | - | - | - | - | - | 50% | - | - | - | - |
| | Índice de Reconocimiento de Sequías (DRI) | - | - | - | - | - | - | 50% | - | - | - | - |
| | Índice de Sequía Keetch-Byram (KBDI) | - | - | - | 50% | - | - | - | - | - | - | - |
| | Índice de Severidad de Sequía de Palmer (PDSI) | 50% | - | - | 50% | - | 63% | 50% | 60% | - | - | - |
| | Porcentaje de precipitación habitual (PNP) | 83% | 67% | 56% | - | 50% | 50% | 50% | 50% | 70% | - | 50% |
| | Índice Estandarizado de Precipitación y Evapotranspiración (SPEI) | 50% | - | - | 67% | 67% | 63% | 75% | 60% | 50% | 50% | 50% |
| | Índice Estandarizado de Precipitación (SPI) | 67% | 56% | - | 67% | 50% | 63% | 50% | 80% | 70% | 75% | 50% |
| | Otros (no especificados) | - | - | - | - | - | - | 50% | - | - | - | 50% |
| | Número de respuestas | 6 | 18 | 16 | 6 | 6 | 8 | 4 | 10 | 20 | 8 | 6 |
| Humedad del suelo | Anomalía de la humedad del suelo (SMA) | - | - | - | 67% | - | 50% | - | 50% | - | - | - |
| | Índice del Déficit de Evapotranspiración (ETDI) | - | - | - | 50% | - | - | - | - | - | - | - |
| | Índice del Déficit de Humedad del Suelo (SMDI) | 50% | - | - | 67% | - | 63% | 50% | 50% | - | - | - |
| | Almacenamiento de agua del suelo (SWS) | - | - | - | 50% | - | 50% | - | 50% | - | - | - |
| | Número de respuestas | 6 | 17 | 15 | 6 | 6 | 8 | 4 | 10 | 19 | 8 | 6 |
| Hidrología | Índice de Sequía Hidrológica de Palmer (PHDI) | - | - | - | - | - | - | 67% | - | - | - | - |
| | Número de respuestas | 5 | 16 | 13 | 5 | 5 | 7 | 3 | 9 | 18 | 7 | 5 |

| | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Teledetección | Índice Mejorado de Vegetación (EVI) | 50% | - | - | 50% | - | 50% | - | - | - | - | - |
| | Índice de Estrés por Evaporación (ESI) | 50% | - | - | 50% | 50% | 50% | 50% | 60% | - | - | - |
| | Índice Diferencial Normalizado de Vegetación (NDVI) | 67% | - | - | 83% | 67% | 88% | 75% | 70% | - | 50% | - |
| | Índice Diferencial de Agua Normalizado (NDWI) e Índice de Agua en la Superficie Terrestre (LSWI) | 50% | - | - | 50% | 50% | - | 50% | - | - | - | - |
| | Índice de Condiciones de la Vegetación (VCI) | - | - | - | 50% | - | 50% | 50% | - | - | - | - |
| | Índice de Respuesta a la Sequía de la Vegetación (VegDRI) | 50% | - | - | 67% | 67% | 50% | 75% | 50% | - | - | - |
| | Índice de Salud de la Vegetación (VHI) | - | - | - | 50% | - | 50% | | | - | - | - |
| | Índice de Satisfacción de la Demanda de Agua (WRSI) | 50% | - | - | 50% | - | 50% | 50% | 50% | - | - | - |
| | Número de respuestas | 6 | 17 | 14 | 6 | 6 | 8 | 4 | 10 | 19 | 8 | 6 |
| Mixtos o modelados | Sistema Mundial de Asimilación de Datos de la Superficie Terrestre (GLDAS) | - | - | - | 50% | - | 50% | - | - | - | - | - |
| | Índice Estandarizado de Sequía de Múltiples Variables (MSDI) | - | - | - | 50% | - | 63% | - | - | - | - | - |
| | Monitor de Sequía de Estados Unidos (USDM) | 67% | 59% | 57% | 67% | 67% | 71% | 75% | 78% | 74% | 50% | 67% |
| | Número de respuestas | 6 | 17 | 14 | 6 | 6 | 8 | 4 | 9 | 19 | 8 | 6 |

Notas: Los datos indican los casos donde al menos 50 por ciento de los participantes calificaron el indicador como muy importante para la respectiva zona climática. La sequía de corto plazo tiene una duración de menos de seis meses. Cs: clima mediterráneo; Csa: clima mediterráneo de verano cálido; Csb: clima mediterráneo de verano suave; Cw: clima templado subhúmedo (con inviernos secos); Cwa: clima subtropical de invierno seco (oceánico cálido); Cwb: clima templado de montaña con invierno seco; Cwc: clima subalpino (frío) subhúmedo de alta montaña (oceánico subpolar); Cf: clima templado húmedo; Cfa: clima subtropical húmedo; Cfb: clima oceánico templado (húmedo de montaña), y Cfc: clima oceánico frío (subpolar).

Cuadro 29. Índices e indicadores más eficaces para sequía de largo plazo en climas templados

| Categoría | Indicador | Zonas climáticas de Köppen | | | | | | | | | | |
|--------------------|--|----------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | Cs | Csa | Csb | Cw | Cwa | Cwb | Cwc | Cf | Cfa | Cfb | Cfc |
| Meteorología | Índice de Severidad de Sequía de Palmer (PDSI) | - | - | - | - | - | 57% | - | 56% | 61% | - | - |
| | Porcentaje de precipitación habitual (PNP) | - | 53% | - | - | - | - | - | 56% | 72% | 57% | - |
| | Índice de Anomalía Pluviométrica (RAI) | - | | | 60% | | | | | | | - |
| | Índice Estandarizado de Precipitación y Evapotranspiración (SPEI) | - | - | - | 60% | - | 57% | - | 56% | - | - | - |
| | Índice Estandarizado de Precipitación (SPI) | 60% | 53% | - | 80% | 60% | 71% | 67% | 89% | 72% | 71% | - |
| | Número de respuestas | 5 | 17 | 15 | 5 | 5 | 7 | 3 | 9 | 18 | 7 | 5 |
| Hidrología | Índice de Sequía Hidrológica de Palmer (PHDI) | - | - | - | - | - | - | 67% | - | - | - | - |
| | Índice Normalizado del Suministro de Embalses (SRSI) | - | - | - | 60% | - | - | - | - | - | - | - |
| | Número de respuestas | 5 | 16 | 13 | 5 | 5 | 7 | 3 | 9 | 18 | 7 | 5 |
| Mixtos o modelados | Sistema Mundial de Asimilación de Datos de la Superficie Terrestre (GLDAS) | - | - | - | 60% | - | 57% | - | 50% | - | - | - |
| | Índice Estandarizado de Sequía de Múltiples Variables (MSDI) | - | - | - | 60% | - | 57% | - | 50% | - | - | - |
| | Monitor de Sequía de Estados Unidos (USDMS) | - | - | - | 60% | - | 57% | 67% | 75% | 78% | 57% | 60% |
| | Número de respuestas | 5 | 16 | 13 | 5 | 5 | 7 | 3 | 8 | 18 | 7 | 5 |

Notas: Los datos indican los casos donde al menos 50 por ciento de los participantes calificaron el indicador como muy importante para la respectiva zona climática. La sequía de largo plazo tiene una duración de seis meses o más. Cs: clima mediterráneo; Csa: clima mediterráneo de verano cálido; Csb: clima mediterráneo de verano suave; Cw: clima templado subhúmedo (con inviernos secos); Cwa: clima subtropical de invierno seco (oceánico cálido); Cwb: clima templado de montaña con invierno seco; Cwc: clima subalpino (frío) subhúmedo de alta montaña (oceánico subpolar); Cf: clima templado húmedo; Cfa: clima subtropical húmedo; Cfb: clima oceánico templado (húmedo de montaña), y Cfc: clima oceánico frío (subpolar).

Cuadro 30. Índices e indicadores no incluidos en el manual de la OMM de mayor eficacia para el monitoreo de sequías en climas templados

| Indicador | Zonas climáticas de Köppen | | | | | | | | | | |
|--|----------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | Cs | Csa | Csb | Cw | Cwa | Cwb | Cwc | Cf | Cfa | Cfb | Cfc |
| Pronósticos de 5 días | 80% | 50% | - | 60% | - | 71% | - | 63% | 56% | 57% | - |
| Pronósticos de 8 a 14 días | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 57% | - |
| Pronósticos de 30 días | - | - | - | 60% | - | - | - | 50% | - | 57% | - |
| Situación o estado de los cultivos | 100% | 63% | 54% | 80% | 60% | 71% | 67% | 88% | 78% | 71% | 60% |
| Profundidad (nivel) del agua subterránea | 80% | 50% | - | 60% | - | 57% | - | 63% | 56% | 57% | - |
| Prohibiciones locales de quema | - | - | - | 60% | - | - | - | - | - | - | - |
| Precipitación fuera de lo normal | 80% | 69% | 62% | - | - | 57% | - | - | 72% | 57% | 60% |
| Percentiles de precipitación | - | 63% | 54% | - | - | 57% | - | 63% | 61% | 71% | - |
| Rangos o pautas de precipitación | - | - | - | - | - | - | - | 50% | - | - | - |
| Impactos de la sequía registrados | 60% | 75% | 54% | - | 60% | - | - | 63% | 72% | 86% | 80% |
| Almacenamiento de embalses | 100% | 81% | 85% | 80% | 80% | 71% | 67% | 75% | 67% | 86% | 80% |
| Humedad del suelo | 60% | 56% | 77% | 80% | 60% | 71% | 67% | 88% | 83% | 86% | 80% |
| Caudales o flujos de corriente | 80% | 63% | 69% | 60% | 60% | 57% | 67% | 75% | 78% | 71% | 80% |
| Temperaturas fuera de lo normal | 80% | 50% | 46% | 60% | - | 57% | - | 50% | 50% | 71% | 60% |
| Rangos de temperatura | 60% | - | - | - | - | - | - | 63% | - | 71% | 60% |
| Verdor de la vegetación | 80% | 56% | 54% | 80% | 80% | 71% | 67% | 63% | 61% | - | - |
| Calidad del agua | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 60% |
| Consumo (demanda) de agua | 80% | 50% | 54% | 60% | - | 57% | - | - | - | 71% | 60% |
| Ubicación e informes de incendios forestales | 60% | 50% | - | 60% | - | 57% | - | - | - | - | - |
| Número de respuestas | 5 | 16 | 13 | 5 | 5 | 7 | 3 | 8 | 18 | 7 | 5 |

Notas: Los datos indican el porcentaje de respuestas al cuestionario en las que cada indicador se calificó como muy eficaz para la respectiva zona climática. Cs: clima mediterráneo; Csa: clima mediterráneo de verano cálido; Csb: clima mediterráneo de verano suave; Cw: clima templado subhúmedo (con inviernos secos); Cwa: clima subtropical de invierno seco (oceánico cálido); Cwb: clima templado de montaña con invierno seco; Cwc: clima subalpino (frío) subhúmedo de alta montaña (oceánico subpolar); Cf: clima templado húmedo; Cfa: clima subtropical húmedo; Cfb: clima oceánico templado (húmedo de montaña), y Cfc: clima oceánico frío (subpolar).

Grupo D: Climas continentales en la clasificación climática de Köppen

Sequía en climas continentales en América del Norte

El grupo climático D se caracteriza por presentar temperaturas superiores a 10 °C en el mes más cálido y de 0 °C o menos en el mes más frío. En función del régimen de precipitación estacional y sus temperaturas extremas, el grupo comprende las siguientes doce zonas climáticas:⁷

- Dsa: Clima continental templado cálido, de verano seco y cálido
- Dsb: Clima continental hemiboreal, de verano seco y fresco
- Dsc: Clima subártico continental, de verano seco y frío
- Dsd: Clima subártico extremo, de verano seco e invierno muy severo
- Dwa: Clima continental subhúmedo, de verano cálido e invierno seco
- Dwb: Clima continental subhúmedo, de verano templado e invierno seco
- Dwc: Clima subártico monzónico, con veranos frescos e inviernos secos
- Dwd: Clima subártico extremo, con inviernos hipergélidos y secos
- Dfa: Clima continental húmedo de verano cálido, con precipitación durante todo el año
- Dfb: Clima continental húmedo de verano moderado (templado), con precipitación durante todo el año
- Dfc: Clima subártico (subpolar o subalpino) húmedo, con veranos frescos y precipitación todo el año
- Dfd: Clima subártico extremo con inviernos hipergélidos y precipitación todo el año

En América del Norte, el grupo climático D, de acuerdo con la clasificación de Köppen, comprende gran parte de la región central, noreste y noroeste del territorio continental de Estados Unidos, la mayor parte de Alaska y regiones de mayor elevación; asimismo, la mayor parte del territorio canadiense al sur del círculo polar ártico entra en el grupo D (gráfica 15).

De las 164 respuestas al cuestionario, 138 participantes indicaron que el área geográfica bajo su responsabilidad comprende regiones del grupo climático D de Köppen, con distribución entre todas las zonas climáticas continentales, aunque con una clara mayoría (73 por ciento) para cinco: Dsa, Dsb, Dfa, Dfb y Dfc. Ocho o menos participantes señalaron que el área a su cargo incluía cada una de las restantes siete zonas climáticas continentales. De esos 138 participantes, 46 se ubican en Canadá, 87 en Estados Unidos y cinco en México (cuadro 31).

Todos los participantes cuya labor se relaciona con el grupo climático D indicaron que sus respectivas áreas de responsabilidad habían experimentado sequía en los últimos diez años, a excepción de un solo caso, correspondiente a la zona Dfb (cuadro 32). La frecuencia de los episodios de sequía en zonas con climas continentales varió de uno a más de cinco años en la última década. Cuatro participantes indicaron no saber con qué frecuencia sus respectivas áreas de responsabilidad habían experimentado sequía (cuadro 33). No se observa un consenso claro entre los participantes respecto de la frecuencia de eventos de sequía en las distintas zonas del grupo climático D, lo cual podría reflejar la extensa distribución geográfica de este grupo climático en toda América del Norte.

La duración de la sequía fue de uno a más de doce meses. Para ninguna de las zonas climáticas del grupo D se reportaron episodios con una duración de menos de un mes. En términos generales, la mayoría de los participantes (57 por ciento) reportó que la sequía típica duraba menos de seis meses (corto plazo); sin embargo, la duración de un evento típico varió considerablemente entre las distintas zonas climáticas. En las zonas Dsb, Dwa, Dwb, Dwd y Dfc, una pequeña mayoría de las respuestas apuntó a sequías típicas con una duración de seis meses o más (de largo plazo). Para las zonas climáticas Dsa, Dsc, Dsd, Dwc, Dfa

⁷ Heim, en correspondencia; Peel, Finlayson y McMahon, 2007.

y Dfb, la mayoría de los participantes reportó sequías típicas con una duración de seis meses o menos (corto plazo), lo cual resultó particularmente evidente para las zonas Dfa y Dfb (con consenso de una gran mayoría de las respuestas) (cuadro 34, gráfica 16).

Factores que influyen en la selección de indicadores

Ningún factor se calificó como muy importante al momento de seleccionar índices o indicadores para *todas* las zonas con climas continentales. La disponibilidad de datos pertinentes y requeridos se consideró muy importante para todas las zonas, a excepción de la Dsc. Un total de 80 por ciento de los participantes indicó que la disponibilidad de datos era un factor muy importante para la zona Dwc, y 92 por ciento para la Dsa. Es preciso destacar que la zona Dsc estuvo representada sólo por tres participantes, dos de los cuales no consideraron la disponibilidad de datos como un factor muy importante (cuadro 35).

Respecto de los factores restantes, la pertinencia del índice o indicador fue señalado como muy importante para la zona Dsa (92 por ciento de los participantes) y también para las zonas Dwa, Dwb y Dfb (más de 80 por ciento de las respuestas). Lo mismo se aplica al historial de índices e indicadores utilizados previamente en el área o región de interés (considerado muy importante en más de 80 por ciento de las respuestas) para las zonas Dwa y Dwb. Cabe destacar que la complejidad o dificultad de los cálculos requeridos no se reportó como un factor muy importante para ninguna de las zonas climáticas de este grupo (cuadro 35).

Los factores más importantes al seleccionar indicadores en climas continentales, enumerados por orden de importancia (de mayor a menor), fueron los siguientes:

- Disponibilidad de datos pertinentes y requeridos para calcular el índice o indicador
- Pertinencia del índice o indicador para el área o región de interés
- Historial de índices e indicadores utilizados previamente en el área o región de interés
- Familiaridad con el índice o indicador específico
- Complejidad o dificultad de los cálculos requeridos

Desempeño de los índices o indicadores

Ninguno de los participantes en el cuestionario indicó que los índices o indicadores funcionaran igualmente bien en *toda* la extensión de su respectiva área geográfica de responsabilidad para alguna de las zonas climáticas continentales. La mayoría de las respuestas apuntó a que los indicadores *no* se desempeñan con la misma eficacia, aunque para las zonas climáticas Dwd y Dfd las respuestas estuvieron divididas (cuadro 36, gráfica 17).

En relación con el desempeño de los indicadores en las distintas temporadas, se observó menos convergencia en las respuestas para las diversas zonas climáticas continentales. Los participantes reportaron que los indicadores *no* presentan la misma eficacia durante todas las estaciones del año en siete zonas climáticas (Dsa, Dsb, Dwa, Dwb, Dfa, Dfb y Dfc), pero *sí* en cuatro zonas (Dsc, Dwc, Dwd y Dfd). Las opiniones se dividieron por igual para la zona Dsd. Cabe destacar que de las seis zonas climáticas subárticas, sólo en una (Dfc) se reportó que la eficacia de los indicadores difiere entre una temporada y otra, aunque para las otras cinco las opiniones se dividieron por igual (o casi por igual) (cuadro 37, gráfica 18).

Índices e indicadores de sequía en climas continentales en América del Norte

En términos generales, once indicadores se calificaron como muy eficaces para monitorear sequías de corto plazo en climas continentales, y 15 indicadores para episodios de largo plazo (cuadro 38). Sin embargo, nueve de los indicadores considerados eficaces para sequías de largo plazo lo fueron sólo para una zona climática y no recibieron calificaciones altas para ninguna otra de las zonas de este grupo; más aún, fueron calificados como muy eficaces exactamente por la mitad de los participantes, lo cual

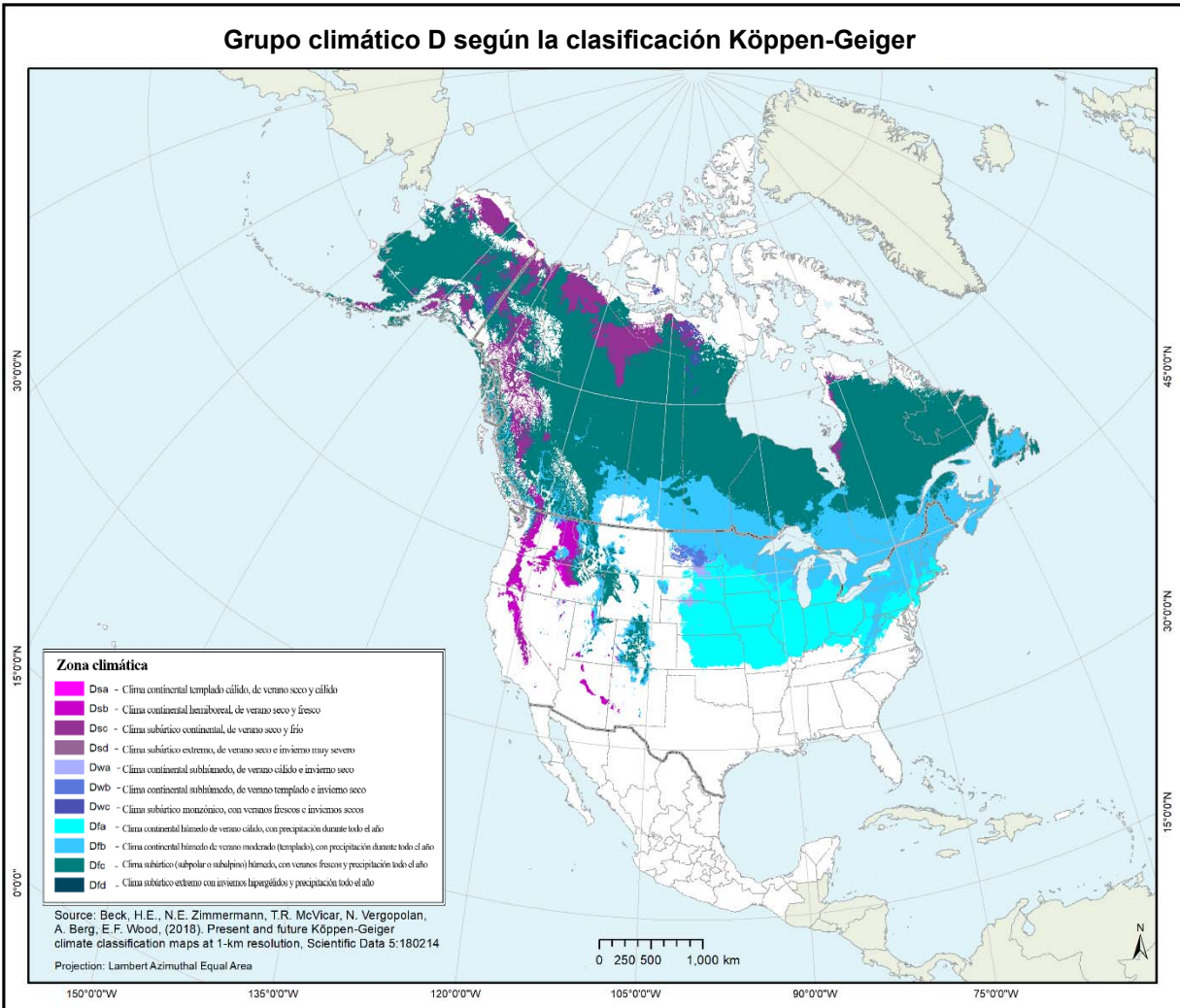
significa que no lo son para esas mismas zonas climáticas en opinión de la otra mitad de quienes respondieron al cuestionario.

Ninguno de los indicadores se calificó como muy eficaz para sequías de corto plazo en *todas* las zonas de climas continentales. El mejor posicionado fue el Monitor de Sequía de Estados Unidos (USDM), con una calificación de muy eficaz para todas las zonas, salvo para Dsa y Dfd. Asimismo, el USDM fue el único indicador que recibió una calificación de alta eficacia para la zona Dwc. Otros tres indicadores —el porcentaje de precipitación habitual (PNP), el Índice Estandarizado de Precipitación y Evapotranspiración (SPEI) y el Índice Estandarizado de Precipitación (SPI)— se calificaron como eficaces para siete u ocho zonas climáticas del grupo. El SPI destacó por recibir una calificación de muy eficaz por 88 y 86 por ciento de los participantes para las zonas Dwa y Dwb, respectivamente (cuadro 38).

Ninguno de los indicadores incluidos en el *Manual de indicadores e índices de sequía* de la OMM se calificó como muy eficaz para el monitoreo de sequías de largo plazo en la zona Dfd. El USDM se consideró muy eficaz para sequías de largo plazo en todas las zonas climáticas continentales, a excepción de la Dfd. Tres otros indicadores recibieron calificaciones de muy eficaces para sequías de largo plazo en la *mayor parte* de las zonas climáticas continentales, a saber: el SPEI, el PNP y el SPI. Los resultados para estos indicadores se superponen de tal manera que, aunque ninguno resulta muy eficaz para *todas* las zonas con climas continentales, al menos uno de los tres ofrece alta eficacia para cada zona, salvo la Dfd (cuadro 38).

Los participantes calificaron 19 índices o indicadores de sequía no incluidos en el manual de la OMM como muy eficaces para monitorear episodios de sequía en climas continentales, tres de éstos —situación o estado de los cultivos, percentiles de precipitación y humedad del suelo— para *todas* las zonas climáticas, incluida la Dfd. La humedad del suelo fue un indicador calificado como muy eficaz en un promedio de 82 por ciento de las respuestas (cuadro 39).

Gráfica 15. Distribución de climas continentales en América del Norte



Cuadro 31. Participantes en el cuestionario que trabajan activamente en climas continentales, por país

| Zona climática | Canadá | Estados Unidos | México | Total |
|---|-----------|----------------|----------|------------|
| Dsa: Clima continental templado cálido, de verano seco y cálido | 5 | 10 | 1 | 16 |
| Dsb: Clima continental hemiboreal, de verano seco y fresco | 3 | 12 | - | 15 |
| Dsc: Clima subártico continental, de verano seco y frío | 2 | 2 | - | 4 |
| Dsd: Clima subártico extremo, de verano seco e invierno muy severo | 2 | 2 | - | 4 |
| Dwa: Clima continental subhúmedo, de verano cálido e invierno seco | 1 | 6 | 1 | 8 |
| Dwb: Clima continental subhúmedo, de verano templado e invierno seco | - | 6 | 1 | 7 |
| Dwc: Clima subártico monzónico, con veranos frescos e inviernos secos | 3 | 2 | - | 5 |
| Dwd: Clima subártico extremo, con inviernos hipergélidos y secos | 2 | 3 | - | 5 |
| Dfa: Clima continental húmedo de verano cálido, con precipitación durante todo el año | 8 | 17 | 1 | 26 |
| Dfb: Clima continental húmedo de verano moderado (templado), con precipitación durante todo el año | 11 | 17 | 1 | 29 |
| Dfc: Clima subártico (subpolar o subalpino) húmedo, con veranos frescos y precipitación todo el año | 6 | 9 | - | 15 |
| Dfd: Clima subártico extremo con inviernos hipergélidos y precipitación todo el año | 3 | 1 | - | 4 |
| Total | 46 | 87 | 5 | 138 |

Nota: Los datos indican el número de respuestas obtenidas.

Cuadro 32. Ocurrencia de sequía en climas continentales, en los últimos diez años

| Zona climática | Sí | No | No sé |
|---|------------|----------|----------|
| Dsa: Clima continental templado cálido, de verano seco y cálido | 16 | - | - |
| Dsb: Clima continental hemiboreal, de verano seco y fresco | 15 | - | - |
| Dsc: Clima subártico continental, de verano seco y frío | 4 | - | - |
| Dsd: Clima subártico extremo, de verano seco e invierno muy severo | 4 | - | - |
| Dwa: Clima continental subhúmedo, de verano cálido e invierno seco | 8 | - | - |
| Dwb: Clima continental subhúmedo, de verano templado e invierno seco | 7 | - | - |
| Dwc: Clima subártico monzónico, con veranos frescos e inviernos secos | 5 | - | - |
| Dwd: Clima subártico extremo, con inviernos hipergélidos y secos | 5 | - | - |
| Dfa: Clima continental húmedo de verano cálido, con precipitación durante todo el año | 26 | - | - |
| Dfb: Clima continental húmedo de verano moderado (templado), con precipitación durante todo el año | 28 | 1 | - |
| Dfc: Clima subártico (subpolar o subalpino) húmedo, con veranos frescos y precipitación todo el año | 15 | - | - |
| Dfd: Clima subártico extremo con inviernos hipergélidos y precipitación todo el año | 4 | - | - |
| Total | 137 | 1 | - |

Nota: Los datos indican el número de respuestas obtenidas.

Cuadro 33. Frecuencia de eventos de sequía en climas continentales

| Zona climática | Frecuencia de eventos de sequía (en años) | | | |
|---|---|-----------|-----------|----------|
| | De 1 a 2 | De 3 a 5 | Más de 5 | No sé |
| Dsa: Clima continental templado cálido, de verano seco y cálido | 2 | 4 | 9 | 1 |
| Dsb: Clima continental hemiboreal, de verano seco y fresco | 2 | 7 | 6 | - |
| Dsc: Clima subártico continental, de verano seco y frío | 2 | 2 | - | - |
| Dsd: Clima subártico extremo, de verano seco e invierno muy severo | 1 | 2 | 1 | - |
| Dwa: Clima continental subhúmedo, de verano cálido e invierno seco | 1 | 1 | 5 | 1 |
| Dwb: Clima continental subhúmedo, de verano templado e invierno seco | 1 | 1 | 5 | - |
| Dwc: Clima subártico monzónico, con veranos frescos e inviernos secos | 1 | 3 | 1 | - |
| Dwd: Clima subártico extremo, con inviernos hipergélidos y secos | 1 | 2 | 2 | - |
| Dfa: Clima continental húmedo de verano cálido, con precipitación durante todo el año | 9 | 6 | 10 | 1 |
| Dfb: Clima continental húmedo de verano moderado (templado), con precipitación durante todo el año | 10 | 9 | 8 | 1 |
| Dfc: Clima subártico (subpolar o subalpino) húmedo, con veranos frescos y precipitación todo el año | 3 | 6 | 6 | - |
| Dfd: Clima subártico extremo con inviernos hipergélidos y precipitación todo el año | 1 | 3 | - | - |
| Total | 34 | 46 | 53 | 4 |

Nota: Los datos indican el número de respuestas obtenidas. La frecuencia de eventos de sequía se refiere a qué tan a menudo se experimentaron episodios de sequía en los últimos diez años.

Cuadro 34. Duración de la sequía típica en climas continentales

| Zona climática | Duración de la sequía (en meses) | | | | Sequía de corto plazo | Sequía de largo plazo |
|---|----------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------------------|-----------------------|
| | De 1 a 3 | De 3 a 6 | De 6 a 12 | Más de 12 | | |
| Dsa: Clima continental templado cálido, de verano seco y cálido | 3 | 6 | 2 | 4 | 9 | 6 |
| Dsb: Clima continental hemiboreal, de verano seco y fresco | 2 | 4 | 4 | 4 | 6 | 8 |
| Dsc: Clima subártico continental, de verano seco y frío | 1 | 3 | - | - | 4 | - |
| Dsd: Clima subártico extremo, de verano seco e invierno muy severo | - | 3 | - | 1 | 3 | 1 |
| Dwa: Clima continental subhúmedo, de verano cálido e invierno seco | 1 | 2 | 3 | 2 | 3 | 5 |
| Dwb: Clima continental subhúmedo, de verano templado e invierno seco | - | 2 | 3 | 2 | 2 | 5 |
| Dwc: Clima subártico monzónico, con veranos frescos e inviernos secos | - | 3 | 1 | 1 | 3 | 2 |
| Dwd: Clima subártico extremo, con inviernos hipergélidos y secos | - | 2 | 2 | 1 | 2 | 3 |
| Dfa: Clima continental húmedo de verano cálido, con precipitación durante todo el año | 7 | 11 | 5 | 2 | 18 | 7 |
| Dfb: Clima continental húmedo de verano moderado (templado), con precipitación durante todo el año | 7 | 12 | 4 | 5 | 19 | 9 |
| Dfc: Clima subártico (subpolar o subalpino) húmedo, con veranos frescos y precipitación todo el año | 2 | 4 | 4 | 5 | 6 | 9 |
| Dfd: Clima subártico extremo con inviernos hipergélidos y precipitación todo el año | - | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 |
| Total | 23 | 54 | 29 | 28 | 77 | 57 |

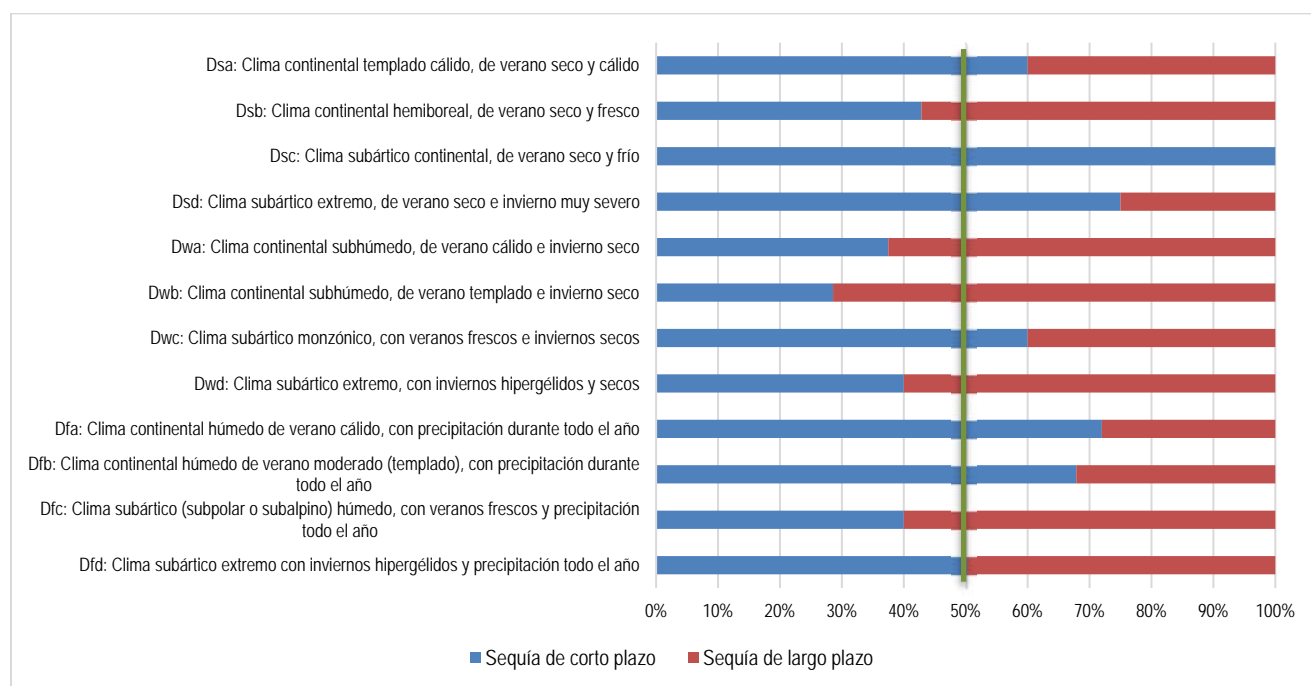
Nota: Los datos indican el número de respuestas obtenidas. Es importante observar que los datos difirieron para episodios de sequía de largo y corto plazos. La sequía de corto plazo tiene una duración de menos de seis meses; la de largo plazo dura seis meses o más.

Cuadro 35. Factores que influyen en la elección de índices e indicadores en climas continentales

| Factores | Zonas climáticas de Köppen | | | | | | | | | | | |
|--|----------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | Dsa | Dsb | Dsc | Dsd | Dwa | Dwb | Dwc | Dwd | Dfa | Dfb | Dfc | Dfd |
| Disponibilidad de datos pertinentes y requeridos para calcular el índice o indicador | 92% | 78% | - | 75% | 57% | 50% | 80% | 75% | 55% | 61% | 50% | 50% |
| Complejidad o dificultad de los cálculos requeridos | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Pertinencia del índice o indicador para el área o región de interés | 92% | 67% | - | 50% | 86% | 83% | 60% | 50% | 70% | 83% | 64% | - |
| Familiaridad con el índice o indicador específico | 58% | - | 67% | - | 71% | 67% | - | 50% | 75% | 65% | 50% | 50% |
| Historial de índices e indicadores utilizados previamente en el área o región de interés | 75% | - | - | - | 86% | 83% | - | 50% | 60% | 65% | 64% | - |
| Número de respuestas | 12 | 9 | 3 | 4 | 7 | 6 | 5 | 4 | 20 | 23 | 14 | 4 |

Notas: Los datos indican los casos donde al menos 50 por ciento de los participantes calificaron el factor como muy importante para la respectiva zona climática. Dsa: clima continental templado cálido, de verano seco y cálido; Dsb: clima continental hemiboreal, de verano seco y fresco; Dsc: clima subártico continental, de verano seco y frío; Dsd: clima subártico extremo, de verano seco e invierno muy severo; Dwa: clima continental subhúmedo, de verano cálido e invierno seco; Dwb: clima continental subhúmedo, de verano templado e invierno seco; Dwc: clima subártico monzónico, con veranos frescos e inviernos secos; Dwd: clima subártico extremo, con inviernos hipergélidos y secos; Dfa: clima continental húmedo de verano cálido, con precipitación durante todo el año; Dfb: clima continental húmedo de verano moderado (templado), con precipitación durante todo el año; Dfc: clima subártico (subpolar o subalpino) húmedo, con veranos frescos y precipitación todo el año; Dfd: clima subártico extremo con inviernos hipergélidos y precipitación todo el año.

Gráfica 16. Duración de la sequía típica en climas continentales: comparación entre corto y largo plazos



Cuadro 36. Desempeño de los indicadores en toda el área geográfica de interés en climas continentales

| Zona climática | Los índices e indicadores se desempeñan con la misma eficacia | Los índices e indicadores <u>no</u> se desempeñan con la misma eficacia |
|---|---|---|
| Dsa: Clima continental templado cálido, de verano seco y cálido | 3 | 9 |
| Dsb: Clima continental hemiboreal, de verano seco y fresco | 3 | 6 |
| Dsc: Clima subártico continental, de verano seco y frío | 1 | 2 |
| Dsd: Clima subártico extremo, de verano seco e invierno muy severo | 1 | 3 |
| Dwa: Clima continental subhúmedo, de verano cálido e invierno seco | 2 | 5 |
| Dwb: Clima continental subhúmedo, de verano templado e invierno seco | 1 | 5 |
| Dwc: Clima subártico monzónico, con veranos frescos e inviernos secos | 2 | 3 |
| Dwd: Clima subártico extremo, con inviernos hipergélidos y secos | 2 | 2 |
| Dfa: Clima continental húmedo de verano cálido, con precipitación durante todo el año | 9 | 11 |
| Dfb: Clima continental húmedo de verano moderado (templado), con precipitación durante todo el año | 7 | 17 |
| Dfc: Clima subártico (subpolar o subalpino) húmedo, con veranos frescos y precipitación todo el año | 5 | 10 |
| Dfd: Clima subártico extremo con inviernos hipergélidos y precipitación todo el año | 2 | 2 |
| Total | 38 | 75 |

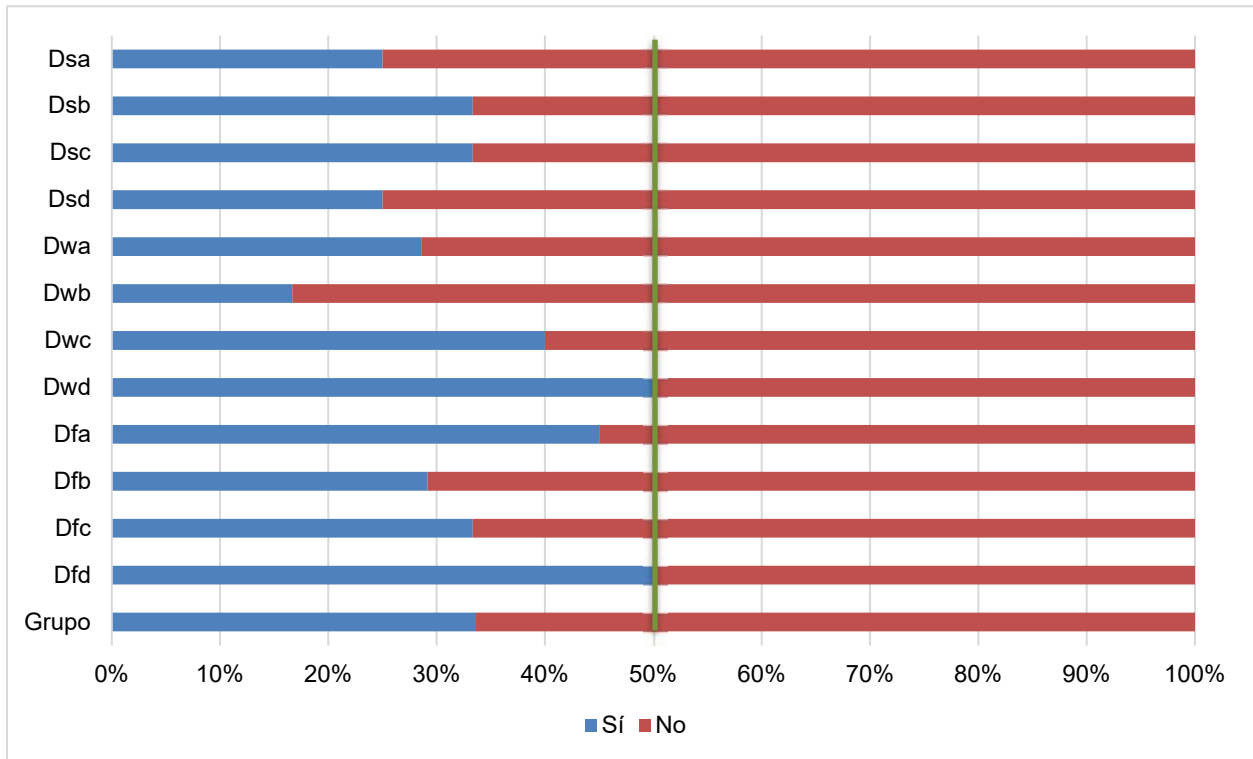
Nota: Los datos indican el número de respuestas obtenidas.

Cuadro 37. Desempeño de los indicadores en distintas temporadas en climas continentales

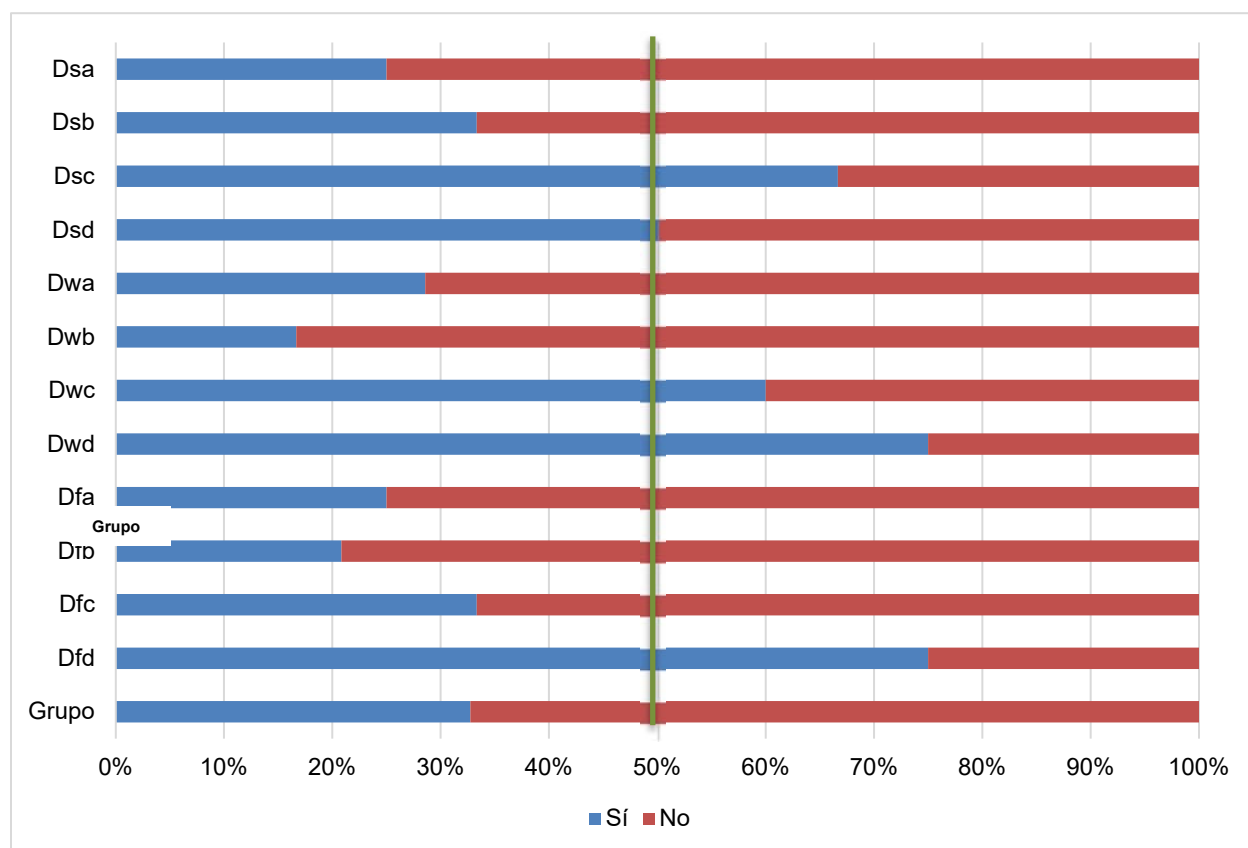
| Zona climática | Los índices e indicadores se desempeñan con la misma eficacia | Los índices e indicadores <u>no</u> se desempeñan con la misma eficacia |
|---|---|---|
| Dsa: Clima continental templado cálido, de verano seco y cálido | 3 | 9 |
| Dsb: Clima continental hemiboreal, de verano seco y fresco | 3 | 6 |
| Dsc: Clima subártico continental, de verano seco y frío | 2 | 1 |
| Dsd: Clima subártico extremo, de verano seco e invierno muy severo | 2 | 2 |
| Dwa: Clima continental subhúmedo, de verano cálido e invierno seco | 2 | 5 |
| Dwb: Clima continental subhúmedo, de verano templado e invierno seco | 1 | 5 |
| Dwc: Clima subártico monzónico, con veranos frescos e inviernos secos | 3 | 2 |
| Dwd: Clima subártico extremo, con inviernos hipergélidos y secos | 3 | 1 |
| Dfa: Clima continental húmedo de verano cálido, con precipitación durante todo el año | 5 | 15 |
| Dfb: Clima continental húmedo de verano moderado (templado), con precipitación durante todo el año | 5 | 19 |
| Dfc: Clima subártico (subpolar o subalpino) húmedo, con veranos frescos y precipitación todo el año | 5 | 10 |
| Dfd: Clima subártico extremo con inviernos hipergélidos y precipitación todo el año | 3 | 1 |
| Total | 37 | 76 |

Nota: Los datos indican el número de respuestas obtenidas.

Gráfica 17. ¿Se desempeñan los indicadores con la misma eficacia en distintas áreas geográficas en climas continentales?



Gráfica 18. ¿Se desempeñan los indicadores con la misma eficacia en distintas temporadas en climas continentales?



Cuadro 38. Índices e indicadores más eficaces para sequías en climas continentales

(a) Indicadores de mayor eficacia para sequías de corto plazo en climas continentales

| Categoría | Indicador | Zonas climáticas de Köppen | | | | | | | | | | | |
|-------------------|--|----------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | Dsa | Dsb | Dsc | Dsd | Dwa | Dwb | Dwc | Dwd | Dfa | Dfb | Dfc | Dfd |
| Meteorología | Índice de Severidad de Sequía de Palmer (PDSI) | - | - | - | - | 50% | - | - | - | - | - | - | - |
| | Índice Z de Palmer | - | - | - | - | - | 57% | - | - | - | - | - | - |
| | Porcentaje de precipitación habitual (PNP) | 71% | 69% | - | 50% | 50% | 57% | - | - | 77% | 65% | - | 71% |
| | Índice Estandarizado de Precipitación y Evapotranspiración (SPEI) | 57% | - | - | - | 63% | 71% | - | 60% | 59% | - | 50% | 57% |
| | Índice Estandarizado de Precipitación (SPI) | 71% | - | - | - | 88% | 86% | - | - | 77% | 65% | 57% | 71% |
| | Otros (no especificados) | - | - | - | - | 50% | - | - | - | - | - | - | - |
| | Número de respuestas | 14 | 13 | 3 | 4 | 8 | 7 | 5 | 5 | 22 | 23 | 14 | 4 |
| Humedad del suelo | Índice del Déficit de Humedad del Suelo (SMDI) | - | - | - | - | - | 50% | - | - | - | - | - | - |
| | Número de respuestas | 14 | 12 | 3 | 4 | 8 | 7 | 5 | 5 | 21 | 23 | 14 | 4 |
| Teledetección | Índice Diferencial Normalizado de Vegetación (NDVI) | - | - | - | - | - | - | - | 60% | - | - | - | - |
| | Índice Diferencial de Agua Normalizado (NDWI) e Índice de Agua en la Superficie Terrestre (LSWI) | - | - | - | 50% | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | Índice de Respuesta a la Sequía de la Vegetación (VegDRI) | - | - | 67% | - | - | - | - | 60% | - | - | - | - |

| | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|--|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---|
| | Número de respuestas | 13 | 10 | 3 | 4 | 8 | 7 | 5 | 5 | 21 | 22 | 14 | 4 |
| Mixtos o modelados | Monitor de Sequía de Estados Unidos (USDM) | - | 60% | 50% | 67% | 63% | 71% | 75% | 75% | 67% | 77% | 69% | - |
| | Número de respuestas | 13 | 10 | 2 | 3 | 8 | 7 | 4 | 4 | 21 | 22 | 13 | 3 |

(b) Indicadores de mayor eficacia para sequías de largo plazo en climas continentales

| Categoría | Indicador | Zonas climáticas de Köppen | | | | | | | | | | | |
|--------------------|--|----------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | Dsa | Dsb | Dsc | Dsd | Dwa | Dwb | Dwc | Dwd | Dfa | Dfb | Dfc | Dfd |
| Meteorología | Índice de Severidad de Sequía de Palmer (PDSI) | 54% | - | 50% | - | 71% | 83% | - | - | 62% | 52% | - | - |
| | Índice Z de Palmer | - | - | 50% | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | Porcentaje de precipitación habitual (PNP) | 69% | 58% | 50% | 67% | 57% | 67% | - | - | 76% | 61% | - | - |
| | Índice Autocalibrado de Severidad de Sequía de Palmer (sc-PDSI) | - | - | 50% | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | Índice Estandarizado de Precipitación y Evapotranspiración (SPEI) | 54% | - | 50% | - | 57% | 83% | 50% | 67% | 57% | - | 54% | - |
| | Índice Estandarizado de Precipitación (SPI) | 69% | - | 50% | 67% | 71% | 83% | 50% | - | 57% | 57% | 54% | - |
| | Número de respuestas | 13 | 12 | 2 | 3 | 7 | 6 | 4 | 3 | 21 | 23 | 13 | 3 |
| Humedad del suelo | Índice del Déficit de Evapotranspiración (ETDI) | - | - | - | 50% | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | Índice del Déficit de Humedad del Suelo (SMDI) | - | - | - | 50% | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | Número de respuestas | 13 | 11 | 3 | 4 | 7 | 6 | 5 | 4 | 20 | 23 | 14 | 4 |
| Hidrología | Índice Normalizado del Suministro de Embalses (SRSI) | - | - | 50% | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | Número de respuestas | 12 | 9 | 2 | 3 | 7 | 6 | 4 | 3 | 19 | 19 | 12 | 3 |
| Teledetección | Índice Mejorado de la Vegetación (EVI) | - | - | - | 50% | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | Índice Diferencial Normalizado de Vegetación (NDVI) | - | - | - | 50% | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | Índice Diferencial de Agua Normalizado (NDWI) e Índice de Agua en la Superficie Terrestre (LSWI) | - | - | - | 50% | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | Índice de Condiciones de la Vegetación (VCI) | - | - | - | 50% | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | Número de respuestas | 11 | 8 | 3 | 4 | 7 | 6 | 5 | 4 | 19 | 20 | 13 | 4 |
| Mixtos o modelados | Sistema Mundial de Asimilación de Datos de la Superficie Terrestre (GLDAS) | - | - | 50% | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | Monitor de Sequía de Estados Unidos (USDM) | 55% | 50% | 50% | 67% | 71% | 67% | 75% | 67% | 74% | 81% | 67% | - |
| | Número de respuestas | 11 | 8 | 2 | 3 | 7 | 6 | 4 | 3 | 19 | 21 | 12 | 3 |

Notas: Los datos indican los casos donde al menos 50 por ciento de los participantes calificaron el indicador como muy importante para la respectiva zona climática. La sequía de corto plazo tiene una duración de menos de seis meses; la de largo plazo dura seis meses o más. Dsa: clima continental templado cálido, de verano seco y cálido; Dsb: clima continental hemiboreal, de verano seco y fresco; Dsc: clima subártico continental, de verano seco y frío; Dsd: clima subártico extremo, de verano seco e invierno muy severo; Dwa: clima continental subhúmedo, de verano cálido e invierno seco; Dwb: clima continental subhúmedo, de verano templado e invierno seco; Dwc: clima subártico monzónico, con veranos frescos e inviernos secos; Dwd: clima subártico extremo, con inviernos hipergélidos y secos; Dfa: clima continental húmedo de verano cálido, con precipitación durante todo el año; Dfb: clima continental húmedo de verano moderado (templado), con precipitación durante todo el año; Dfc: clima subártico (subpolar o subalpino) húmedo, con veranos frescos y precipitación todo el año, y Dfd: clima subártico extremo con inviernos hipergélidos y precipitación todo el año.

Cuadro 39. Índices e indicadores no incluidos en el manual de la OMM de mayor eficacia para el monitoreo de sequías en climas continentales

| Indicador | Zonas climáticas de Köppen | | | | | | | | | | | |
|--|----------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | Dsa | Dsb | Dsc | Dsd | Dwa | Dwb | Dwc | Dwd | Dfa | Dfb | Dfc | Dfd |
| Pronósticos de 5 días | 50% | - | - | - | 57% | 50% | - | - | - | - | - | - |
| Pronósticos de 8 a 14 días | 50% | - | - | - | 57% | 50% | - | - | 50% | - | 57% | - |
| Pronósticos de 30 días | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 50% | 50% |
| Situación o estado de los cultivos | 75% | 56% | 67% | 75% | 86% | 83% | 80% | 75% | 80% | 83% | 71% | 75% |
| Profundidad (nivel) del agua subterránea | - | - | - | - | 71% | 67% | - | - | 55% | - | - | - |
| Precipitación fuera de lo normal | 83% | 67% | - | 75% | 57% | 50% | 60% | 50% | 75% | 74% | 79% | 75% |

| | | | | | | | | | | | | |
|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Percentiles de precipitación | 75% | 67% | 67% | 75% | 57% | 67% | 60% | 50% | 65% | 70% | 71% | 50% |
| Rangos o pautas de precipitación | 50% | 56% | - | 50% | - | 50% | - | - | 65% | 65% | 57% | - |
| Impactos de la sequía registrados | 83% | 67% | - | - | 86% | 83% | - | 50% | 75% | 78% | 86% | 50% |
| Almacenamiento de embalses | 75% | 78% | - | 50% | 71% | 67% | 60% | 50% | 60% | 74% | 64% | 50% |
| Pronósticos estacionales | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 50% |
| Humedad del suelo | 92% | 89% | 67% | 75% | 86% | 83% | 80% | 75% | 85% | 87% | 93% | 75% |
| Caudales o flujos de corriente | 75% | 67% | - | 50% | 86% | 83% | 60% | 50% | 75% | 78% | 64% | - |
| Temperaturas fuera de lo normal | 75% | 67% | 67% | 50% | 57% | 67% | - | 50% | 75% | 74% | 86% | 75% |
| Rangos de temperatura | 58% | 56% | - | - | - | 67% | - | - | 60% | 52% | 57% | - |
| Verdor de la vegetación | 67% | 67% | - | 75% | - | 50% | 60% | 50% | - | 52% | - | - |
| Calidad del agua | - | - | - | - | - | - | - | 50% | - | - | - | 50% |
| Consumo (demanda) de agua | 75% | 78% | - | 75% | - | - | 60% | 50% | 55% | 57% | 57% | 50% |
| Ubicación e informes de incendios forestales | - | - | - | - | 57% | 67% | - | - | - | - | - | - |
| Número de respuestas | 12 | 9 | 3 | 4 | 7 | 6 | 5 | 4 | 20 | 23 | 14 | 4 |

Notas: Los datos indican los casos donde al menos 50 por ciento de los participantes calificaron el indicador como muy importante para la respectiva zona climática. Dsa: clima continental templado cálido, de verano seco y cálido; Dsb: clima continental hemiboreal, de verano seco y fresco; Dsc: clima subártico continental, de verano seco y frío; Dsd: clima subártico extremo, de verano seco e invierno muy severo; Dwa: clima continental subhúmedo, de verano cálido e invierno seco; Dwb: clima continental subhúmedo, de verano templado e invierno seco; Dwc: clima subártico monzónico, con veranos frescos e inviernos secos; Dwd: clima subártico extremo, con inviernos hipergélidos y secos; Dfa: clima continental húmedo de verano cálido, con precipitación durante todo el año; Dfb: clima continental húmedo de verano moderado (templado), con precipitación durante todo el año; Dfc: clima subártico (subpolar o subalpino) húmedo, con veranos frescos y precipitación todo el año, y Dfd: clima subártico extremo con inviernos hipergélidos y precipitación todo el año.

Grupo E: Climas polares en la clasificación climática de Köppen

Sequía en climas polares en América del Norte

El grupo climático E se define por sus climas polares con temperaturas por debajo de los 10 °C en los meses más cálidos. En función de la temperatura registrada en el mes más cálido (por encima o por debajo de los 0 °C), este grupo comprende las siguientes dos zonas climáticas:⁸

- ET: Clima de tundra polar
- EF: Clima gélido o glacial

En América del Norte, el grupo climático E según la clasificación climática de Köppen se limita a partes de Alaska, zonas de mayor elevación en la región oeste de Estados Unidos y Canadá, y todo el extremo septentrional canadiense (gráfica 19).

De las 164 respuestas obtenidas en el cuestionario, siete participantes —cuatro de Canadá y tres de Estados Unidos (cuadro 40)— reportaron que las áreas geográficas bajo su responsabilidad correspondían al grupo climático E de Köppen, cinco en la zona ET y dos en la EF. Aunque las zonas climáticas polares estuvieron representadas por pocos participantes, cabe destacar que se presume que los conocimientos y experiencia relacionados con estas zonas climáticas están restringidos a un número limitado de autoridades.

Todos los participantes cuya labor se relaciona con el grupo climático E respondieron que sus respectivas áreas de responsabilidad habían experimentado eventos de sequía en los últimos diez años (cuadro 41), con una frecuencia que varió de uno a más de cinco años en la década previa (cuadro 42).

La duración de la sequía típica osciló entre uno y más de doce meses. Ninguno de los participantes indicó que los episodios registrados hubieran durado menos de un mes en ninguna de las dos zonas climáticas del grupo E. En la mayoría (63 por ciento) de las respuestas, se observó una duración de seis meses o más en cada zona climática y, por ello, se consideran sequías de largo plazo (cuadro 43).

Factores que influyen en la selección de indicadores

La disponibilidad de datos pertinentes y requeridos se reportó en la totalidad de las respuestas como el factor más importante al momento de seleccionar indicadores para climas polares; en cambio, en ningún caso se indicó que la complejidad o dificultad de los cálculos requeridos revistiera relevancia. La importancia de los demás factores recibió la misma calificación por todos los participantes: 75 por ciento para la zona ET y 50 por ciento para la zona EF (cuadro 44).

Como ya se observó, las zonas climáticas polares contaron con muy reducida representación en el cuestionario, comparativamente hablando; sin embargo, la convergencia de las respuestas de todos los participantes con experiencia relacionada con el clima polar podría considerarse digna de atención.

Los factores más importantes al seleccionar indicadores en climas polares, listados por orden de importancia (de mayor a menor), fueron los siguientes:

- Disponibilidad de datos pertinentes y requeridos para calcular el índice o indicador
- Pertinencia del índice o indicador para el área o región de interés
- Familiaridad con el índice o indicador específico, e historial de índices e indicadores utilizados previamente en el área o región de interés (ambos factores igualmente importantes)
- Complejidad o dificultad de los cálculos requeridos

⁸ Heim, en correspondencia; Peel, Finlayson y McMahon, 2007.

Desempeño de los índices o indicadores

Las opiniones de los participantes en el cuestionario en torno a si los indicadores e índices utilizados funcionan igualmente bien —o no— en *toda* su área geográfica de responsabilidad en la zona climática polar ET se dividieron en forma pareja. Las dos respuestas recibidas para la zona EF coincidieron en cuanto a que los indicadores *no* se desempeñan con la misma eficacia (cuadro 45). En relación con el desempeño de los indicadores en las distintas temporadas, en la mayoría de las respuestas se observó que los indicadores presentan la misma eficacia durante todas las estaciones del año en la zona climática ET, en tanto que las opiniones estuvieron divididas por igual (una y una) para la zona climática EF (cuadro 46).

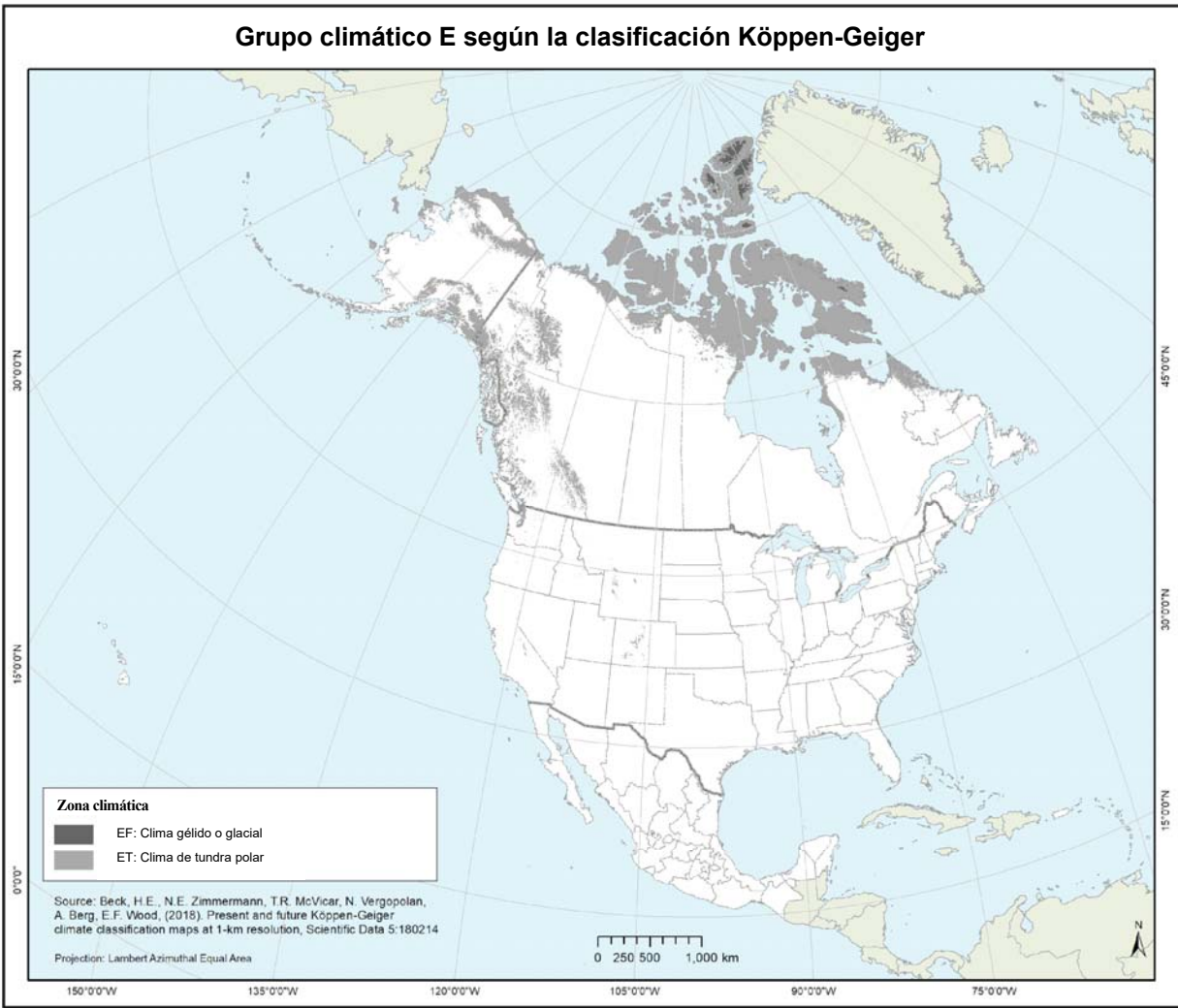
Indicadores de sequía en climas polares en América del Norte

Diecinueve indicadores se calificaron como muy eficaces para monitorear sequías de corto plazo y doce para episodios de largo plazo (cuadro 47). Sin embargo, la mayoría de dichos indicadores fueron calificados como muy eficaces únicamente 50 por ciento de los participantes, lo cual significa que no lo son para esas mismas zonas climáticas en opinión de la otra mitad de quienes respondieron al cuestionario. Sobresale un indicador, el Monitor de Sequía de Estados Unidos (USDMS), que en *todas* las respuestas se consideró muy eficaz para sequía tanto de corto como de largo plazo en ambas zonas climáticas polares (cuadro 47).

Los participantes en el cuestionario calificaron 17 índices o indicadores de sequía no incluidos en el manual de la OMM como muy eficaces para monitorear sequías en climas polares (cuadro 48).

Como se señaló anteriormente, el número de participantes que pudieron aportar experiencia en relación con zonas climáticas polares fue bastante reducido; por ello, derivar conclusiones contundentes sobre la eficacia de estos indicadores con base en el tamaño de dicha muestra constituye todo un reto.

Gráfica 19. Distribución de climas polares en América del Norte



Cuadro 40. Participantes en el cuestionario que trabajan activamente en climas polares, por país

| Zona climática | Canadá | Estados Unidos | México | Total |
|----------------------------|----------|----------------|----------|----------|
| ET: Clima de tundra polar | 3 | 2 | - | 5 |
| EF: Clima gélido o glacial | 1 | 1 | - | 2 |
| Total | 4 | 3 | - | 7 |

Nota: Los datos indican el número de respuestas obtenidas.

Cuadro 41. Ocurrencia de sequía en climas polares, en los últimos diez años

| Zona climática | Sí | No | No sé |
|----------------------------|----------|----------|----------|
| ET: Clima de tundra polar | 5 | - | - |
| EF: Clima gélido o glacial | 2 | - | - |
| Total | 7 | - | - |

Nota: Los datos indican el número de respuestas obtenidas.

Cuadro 42. Frecuencia de eventos de sequía en climas polares

| Zona climática | Frecuencia de episodios de sequía (en años) | | |
|----------------------------|---|----------|----------|
| | De 1 a 2 | De 3 a 5 | Más de 5 |
| ET: Clima de tundra polar | 1 | 2 | 2 |
| EF: Clima gélido o glacial | - | 1 | 1 |
| Total | 1 | 3 | 3 |

Nota: Los datos indican el número de respuestas obtenidas. La frecuencia de eventos de sequía se refiere a qué tan a menudo se experimentaron episodios de sequía en los últimos diez años.

Cuadro 43. Duración de la sequía típica en climas polares

| Zona climática | Duración de la sequía (en meses) | | | | Sequía de corto plazo | Sequía de largo plazo |
|----------------------------|----------------------------------|----------|-----------|-----------|-----------------------|-----------------------|
| | De 1 a 3 | De 3 a 6 | De 6 a 12 | Más de 12 | | |
| ET: Clima de tundra polar | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 |
| EF: Clima gélido o glacial | - | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 |
| Total | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 5 |

Nota: Los datos indican el número de respuestas obtenidas. Es importante observar que los datos difirieron para episodios de sequía de largo y corto plazos. La sequía de corto plazo tiene una duración de menos de seis meses; la de largo plazo dura seis meses o más.

Cuadro 44. Factores que influyen en la elección de índices e indicadores en climas polares

| Factores | Zonas climáticas de Köppen | |
|--|----------------------------|------|
| | ET | EF |
| Disponibilidad de datos pertinentes y requeridos para calcular el índice o indicador | 100% | 100% |
| Complejidad o dificultad de los cálculos requeridos | - | - |
| Pertinencia del índice o indicador para el área o región de interés | 75% | 50% |
| Familiaridad con el índice o indicador específico | 75% | 50% |
| Historial de índices e indicadores utilizados previamente en el área o región de interés | 75% | 50% |
| Número de respuestas | 4 | 2 |

Nota: Los datos indican los casos donde al menos 50 por ciento de los participantes calificaron el factor como muy importante para la respectiva zona climática. ET: clima de tundra polar y EF: clima gélido o glacial.

Cuadro 45. Desempeño de los indicadores en toda el área geográfica de interés en climas polares

| Zona climática | Los índices e indicadores se desempeñan con la misma eficacia | Los índices e indicadores <u>no</u> se desempeñan con la misma eficacia |
|----------------------------|---|---|
| ET: Clima de tundra polar | 2 | 2 |
| EF: Clima gélido o glacial | - | 2 |
| Total | 2 | 4 |

Nota: Los datos indican el número de respuestas obtenidas.

Cuadro 46. Desempeño de los indicadores en distintas temporadas en climas polares

| Zona climática | Los índices e indicadores se desempeñan con la misma eficacia | Los índices e indicadores <u>no</u> se desempeñan con la misma eficacia |
|----------------------------|---|---|
| ET: Clima de tundra polar | 3 | 1 |
| EF: Clima gélido o glacial | 1 | 1 |
| Total | 4 | 2 |

Nota: Los datos indican el número de respuestas obtenidas.

Cuadro 47. Índices e indicadores más eficaces para sequías en climas polares

(a) Indicadores de mayor eficacia para sequías de corto plazo en climas polares

| Categoría | Indicador | Zonas climáticas de Köppen | |
|--------------------|--|----------------------------|------|
| | | ET | EF |
| Meteorología | Índice de Humedad de los Cultivos (CMI) | - | 50% |
| | Índice de Severidad de Sequía de Palmer (PDSI) | 50% | 50% |
| | Índice Z de Palmer | - | 50% |
| | Índice Autocalibrado de Severidad de Sequía de Palmer (sc-PDSI) | - | 50% |
| | Índice Estandarizado de Precipitación y Evapotranspiración (SPEI) | 50% | 50% |
| | Índice Estandarizado de Precipitación (SPI) | 50% | 50% |
| | Número de respuestas | 4 | 2 |
| Humedad del suelo | Índice del Déficit de Evapotranspiración (ETDI) | - | 50% |
| | Índice del Déficit de Humedad del Suelo (SMDI) | - | 50% |
| | 1-evapotranspiración real/evapotranspiración potencial* | - | 50% |
| | Número de respuestas | 4 | 2 |
| Hidrología | Índice de Sequía Hidrológica de Palmer (PHDI) | - | 100% |
| | Índice del Abastecimiento de las Aguas Superficiales (SWSI) | 67% | 100% |
| | Número de respuestas | 3 | 1 |
| Teledetección | Índice Mejorado de Vegetación (EVI) | - | 50% |
| | Índice de Estrés por Evaporación (ESI) | - | 50% |
| | Índice Diferencial Normalizado de Vegetación (NDVI) | 50% | 100% |
| | Índice Diferencial de Agua Normalizado (NDWI) e Índice de Agua en la Superficie Terrestre (LSWI) | - | 50% |
| | Índice de Condiciones de la Vegetación (VCI) | - | 50% |
| | Índice de Respuesta a la Sequía de la Vegetación (VegDRI) | 50% | 100% |
| | Índice de Salud de la Vegetación (VHI) | - | 50% |
| | Número de respuestas | 4 | 2 |
| Mixtos o modelados | Monitor de Sequía de Estados Unidos (USDM) | 100% | 100% |
| | Número de respuestas | 3 | 1 |

(b) Indicadores de mayor eficacia para sequías de largo plazo en climas polares

| Categoría | Indicador | Zonas climáticas de Köppen | |
|--------------------|--|----------------------------|------|
| | | ET | EF |
| Meteorología | Índice de Severidad de Sequía de Palmer (PDSI) | 67% | 100% |
| | Índice Estandarizado de Precipitación y Evapotranspiración (SPEI) | 67% | 100% |
| | Índice Estandarizado de Precipitación (SPI) | 67% | 100% |
| | Número de respuestas | 3 | 1 |
| Humedad del suelo | Índice del Déficit de Evapotranspiración (ETDI) | - | 50% |
| | Índice del Déficit de Humedad del Suelo (SMDI) | - | 50% |
| | Número de respuestas | 4 | 2 |
| Hidrología | Índice de Sequía Hidrológica de Palmer (PHDI) | - | 100% |
| | Número de respuestas | 3 | 1 |
| Teledetección | Índice Mejorado de la Vegetación (EVI) | - | 50% |
| | Índice Diferencial Normalizado de Vegetación (NDVI) | - | 50% |
| | Índice Diferencial de Agua Normalizado (NDWI) e Índice de Agua en la Superficie Terrestre (LSWI) | - | 50% |
| | Índice de Condiciones de la Vegetación (VCI) | - | 50% |
| | Índice de Respuesta a la Sequía de la Vegetación (VegDRI) | - | 50% |
| | Número de respuestas | 4 | 2 |
| Mixtos o modelados | Monitor de Sequía de Estados Unidos (USDM) | 100% | 100% |
| | Número de respuestas | 3 | 1 |

Nota: Los datos indican los casos donde al menos 50 por ciento de los participantes calificaron el indicador como muy importante para la respectiva zona climática. La sequía de corto plazo tiene una duración de menos de seis meses; la de largo plazo dura seis meses o más. ET: clima de tundra polar y EF: clima gélido o glacial.

* Aunque en la selección original de indicadores incluida en el cuestionario no se enlistaba el correspondiente a 1-evapotranspiración real/evapotranspiración potencial (1-AET/PET), los participantes tenían la opción de proporcionar “otros” indicadores que consideraran eficaces para monitorear eventos de sequía en el área geográfica bajo su responsabilidad.

Cuadro 48. Índices e indicadores *no* incluidos en el manual de la OMM de mayor eficacia para el monitoreo de sequías en climas polares

| Indicador | Zonas climáticas de Köppen | |
|--|----------------------------|------|
| | ET | EF |
| Pronósticos de 5 días | 50% | - |
| Pronósticos de 8 a 14 días | 100% | - |
| Situación o estado de los cultivos | 50% | 100% |
| Profundidad (nivel) del agua subterránea | 75% | 50% |
| Precipitación fuera de lo normal | 75% | 50% |
| Percentiles de precipitación | 50% | 100% |
| Rangos o pautas de precipitación | 75% | 50% |
| Impactos de la sequía registrados | 75% | 50% |
| Almacenamiento de embalses | 50% | 50% |
| Pronósticos estacionales | 75% | - |
| Humedad del suelo | 75% | 100% |
| Caudales o flujos de corriente | 75% | 50% |
| Temperaturas fuera de lo normal | 50% | 50% |
| Rangos de temperatura | 50% | 50% |
| Verdor de la vegetación | 75% | 100% |
| Calidad del agua | 50% | 50% |
| Consumo (demanda) de agua | 75% | 50% |
| Número de respuestas | 4 | 2 |

Nota: Los datos indican los casos donde al menos 50 por ciento de los participantes calificaron el indicador como muy importante para la respectiva zona climática. ET: clima de tundra polar y EF: clima gélido o glacial.

Sequía en América del Norte

Definición de sequía

La sequía es un concepto difícil de definir. Se pidió a los participantes en los seminarios en línea realizados en octubre de 2020 discutir cómo definirían la sequía en las áreas geográficas bajo su responsabilidad o sectores económicos de interés.

Si bien los participantes mencionaron las definiciones “clásicas” para sequía, como “falta de humedad y grado de déficit de humedad” o “deficiencia de precipitación a lo largo de un periodo extendido”, la mayor parte de la discusión se centró en reconocer el fenómeno a partir de la información emanada de los indicadores de sequía. Varios participantes se refirieron al uso del Índice Estandarizado de Precipitación y Evapotranspiración (*Standardized Precipitation Evapotranspiration Index*, SPEI) y el Índice del Abastecimiento de las Aguas Superficiales (*Surface Water Supply Index*, SWSI) para definir la sequía. Se observó también la posibilidad de pronosticar episodios de sequía con base en la precipitación y temperatura esperadas mes con mes; la cobertura de nieve presente y pronosticada; las condiciones de humedad en cuencas hidrográficas (monitoreo del nivel del agua subterránea y la humedad del suelo), y la demanda de agua de los consumidores. Un participante señaló que las autoridades en Columbia Británica, Canadá, utilizan el porcentaje de precipitación promedio de 30 días y el percentil de caudales promedio de siete días como indicadores de sequía. Otro más explicó que, en su caso, se recurre a indicadores de sequía específicos para cuencas hidrográficas, con base en los niveles de almacenamiento en un sistema de cuatro embalses.

En resumen, la mayoría de los profesionales dedicados al fenómeno de la sequía están familiarizados con las definiciones genéricas de sequía. Sin embargo, ésta puede percibirse desde distintos ángulos, dependiendo de la región climatológica en observación, el objetivo principal para describirla y los datos disponibles.

Frecuencia y duración de los episodios de sequía en América del Norte

Prácticamente todos los participantes en el cuestionario en línea señalaron que las áreas geográficas a su cargo habían experimentado sequía en los últimos diez años. De 133 respuestas, únicamente cuatro —dos de Canadá y dos de Estados Unidos— reportaron no haber experimentado sequías en dicho periodo y once respondieron que no sabían (cuadro 49). La mayoría de los participantes canadienses y estadounidenses indicaron que, en su experiencia, se habían registrado eventos de sequía en cinco o menos años en la década previa; en contraste, la mayoría de los mexicanos que respondieron señalaron que, en su caso, se había experimentado sequía en más de cinco años en el mismo periodo (cuadro 50).

Los episodios de sequía típicos en América del Norte tuvieron una duración de uno a más de doce meses. Ninguno de los participantes reportó eventos de menos de un mes de duración. Más de la mitad de las respuestas recogidas de entre los participantes de los tres países, incluidos más de 80 por ciento de los canadienses y mexicanos, indicaron que la sequía era típicamente de corto plazo. En comparación, sólo 54 por ciento de los estadounidenses respondió que la sequía típica tenía una duración de corto plazo (cuadro 51, gráfica 20).

Factores que influyen en la selección de indicadores en América del Norte

La mayoría de los participantes de los tres países indicaron que la disponibilidad de datos pertinentes y requeridos para calcular el índice o indicador es un factor de suma importancia al momento de elegir indicadores. De hecho, éste fue el único factor considerado muy importante por participantes de los tres países, y el único que revistió tal importancia para los participantes mexicanos. En cambio, la complejidad o dificultad de los cálculos requeridos no se consideró muy importante en la mayoría de las respuestas de los participantes de los tres países. La pertinencia del índice o indicador para el área o región de interés, la familiaridad con el índice o indicador específico y el historial de índices e indicadores utilizados

previamente en el área o región correspondiente revisten, cada uno, suma importancia para las autoridades canadienses y estadounidenses (cuadro 52).

Varios participantes en el cuestionario comentaron que uno de los factores determinantes al momento de elegir un indicador o índice para el monitoreo de sequías es el grado de “especificidad para el lugar de interés”. De la misma manera que estados y provincias presentan diferencias, sus estándares y técnicas para monitorear sequías también varían. En algunos casos, la autoridad estatal o provincial competente es la encargada de dictar los indicadores a emplear, lo cual complica el uso de los indicadores allende las fronteras cuando la sequía afecta zonas que abarcan varias jurisdicciones que difieren. Por tanto, se sugiere que fomentar o mejorar la comunicación entre autoridades responsables de atender la sequía en jurisdicciones vecinas podría ser de gran provecho. Además, formular metodologías de aceptación más universal para monitorear y manejar eventos de sequía podría simplificar el proceso de toma de decisiones cuando se trata de seleccionar los indicadores más convenientes. Este punto podría revestir particular importancia en áreas de alto riesgo de sequía que atraviesan transversalmente fronteras políticas donde dos o más autoridades deben colaborar.

Entre los comentarios se mencionó también que resultaría muy conveniente poder “establecer una correlación entre el indicador de interés y las condiciones reales en el terreno”. Se destacó, además, la necesidad de poder visualizar eventos de sequía a escalas lo mismo local que estatal o provincia. Estas opciones permitirían tomar decisiones más adecuadas en las que condiciones de sequía en tiempo real servirían para orientar mejor qué indicadores o índices podrían o deberían utilizarse.

Desempeño de los índices o indicadores en América del Norte

La mayoría de los participantes de cada país coincidieron en que los indicadores no se desempeñan con la misma eficacia (no funcionan igualmente bien en *toda* la extensión de las respectivas áreas geográficas de responsabilidad o de interés, aunque en el caso de los estadounidenses y los mexicanos, las opiniones estuvieron divididas casi por igual (cuadro 53).

Las respuestas al cuestionario dejaron ver que los indicadores ofrecen la misma eficacia en los diferentes terrenos geográficos de cuatro zonas climáticas: Af, Cwa, Cwc y Cfc, pero que no ocurre así en todas las demás zonas climáticas (gráfica 21), debido a que —como indicó la mayoría— las respectivas áreas a cargo presentan características geográficas considerablemente variables. Elegir indicadores que puedan aplicarse con eficacia en toda el área de interés supone un enorme desafío, lo cual pone de relieve la importancia de establecer una colección de indicadores e índices que se desempeñen con eficacia en zonas climáticas específicas.

Otro de los temas recurrentes que los participantes mencionaron tiene que ver con los caudales o flujos de corriente y las condiciones del suelo. Se sugirió que el monitoreo de caudales podría ser ineficaz en virtud de los horizontes temporales limitados para los que se dispone de datos (por ejemplo, datos de siete o 28 días). Un participante comentó que otro caso poco confiable ocurre cuando “el caudal base es reducido y el flujo no es suficientemente representativo de los impactos en la agricultura”. Respecto de los indicadores de humedad del suelo, los participantes comentaron que las condiciones del suelo pueden variar considerablemente en una misma región y algunos indicadores no dan cuenta de ello.

Asimismo, las respuestas al cuestionario señalaron en su mayoría que los indicadores no tienen la misma eficacia en las distintas temporadas, aunque, una vez más, las opiniones de los participantes estadounidenses y mexicanos estuvieron divididas (cuadro 54). Se señaló que los indicadores se desempeñan con la misma eficacia en todas las temporadas en tres zonas climáticas tropicales (Af, Am, Aw), en la zona Cwa, y en cinco zonas subárticas o polares (Dsc, Dwc, Dwd, Dfd y ET). Para todas las demás zonas climáticas, los participantes observaron que los indicadores no resultan igualmente adecuados durante todas las estaciones del año (o bien las opiniones se dividieron por igual) (gráfica 22).

Los participantes en el cuestionario indicaron que la variabilidad estacional resta confiabilidad a ciertos indicadores en distintas épocas del año. En particular, las temporadas de secas y de invierno se mencionaron ambas específicamente como problemáticas por la incapacidad para utilizar indicadores de vegetación y corrientes de agua. También se mencionaron con frecuencia las complicaciones que plantean los indicadores de medición de cultivos.

Tener la posibilidad de seleccionar indicadores en función de la temporada en curso podría aumentar la eficacia de las tareas de monitoreo y manejo de sequía, sobre todo en ciertas áreas geográficas o grupos climáticos, aun si semejante nivel de detalle no necesariamente resulte relevante en otras regiones. También cabe la posibilidad de que cada autoridad tenga conocimiento de indicadores de sequía estacionales en sus respectivas áreas de responsabilidad, los cuales podrían incluirse al integrar catálogos de indicadores de sequía.

La disponibilidad de datos fue uno de los factores mencionados con frecuencia por los participantes como una barrera para conocer cuán bien funcionan ciertos indicadores. Algunos indicadores clave carecen de datos, ya sea por la falta de entrada de los mismos o por deficiencias en la capacidad para registrarlos en forma eficaz. Uno de los participantes afirmó que “los datos no se intercambian entre las distintas dependencias competentes”. El intercambio de datos en el ámbito transfronterizo —o interinstitucional— redundaría en una toma de decisiones más adecuada al facilitar información más confiable con la que los analistas pudieran trabajar.

Dos participantes destacaron la condición de los instrumentos de medición como elemento esencial para permitir que los indicadores funcionen durante todo el año. Se insinuó que las necesidades por cuanto a mantenimiento de tales instrumentos varían y que en muchos casos las hostiles condiciones invernales llegan a dañar el equipo. Este tema podría representar un factor importante al considerar el uso de indicadores en regiones con climas extremos, sobre todo en aquellos donde se observan fluctuaciones de veranos calurosos a inviernos fríos.

Eficacia de los índices o indicadores de sequía en América del Norte

Con base en las opiniones de los participantes en el cuestionario, la eficacia en el ámbito regional de los indicadores e índices incluidos en el *Manual de indicadores e índices de sequía* de la OMM difiere considerablemente de la que ofrecen los indicadores no incluidos en esta obra.

Los participantes en el cuestionario señalaron que la mayoría de los indicadores incluidos en el manual de la OMM no se desempeñan con mucha eficacia en la mayor parte de las zonas climáticas. Únicamente cuatro de 44 indicadores se consideraron como muy eficaces en al menos la mitad de las distintas zonas climáticas (cuadros 10, 19, 28, 29, 38 y 47). En contraste, doce de los 21 indicadores no incluidos en dicho manual se calificaron como muy eficaces en al menos la mitad de las diferentes zonas climáticas (cuadros 11, 20, 30, 39 y 48).

Los indicadores del manual de la OMM considerados como muy eficaces en la mayoría de las zonas climáticas fueron el PNP, el SPEI, el SPI y el USDM, aunque ninguno se calificó como muy eficaz en *todas* las zonas climáticas en América del Norte. En el caso de las sequías de corto plazo, el SPI se calificó como muy eficaz para 27 de las 34 zonas climáticas del subcontinente; el PNP para 23, y el SPEI para 22. En conjunto, estos tres indicadores meteorológicos, junto con el USDM, se calificaron como muy eficaces para sequías de corto plazo en 32 de las 34 zonas climáticas (cuadros 10, 19, 28, 38 y 47).

Para sequías de largo plazo, el SPI se consideró como muy eficaz en 29 zonas climáticas, en tanto que los otros tres indicadores recibieron calificaciones ligeramente más bajas: el PNP se consideró muy eficaz para 21 zonas; el SPEI para 17, y el USDM para 30. Es preciso destacar que, para muchas de las zonas climáticas de interés, el PNP y el SPEI se consideraron como muy eficaces en sólo 50 por ciento de las respuestas (cuadros 10, 19, 28, 29, 38 y 47). Con base en las opiniones de los participantes en el

cuestionario, el SPI y el USDM podrían considerarse los indicadores incluidos en el manual de la OMM de mayor eficacia a escala regional para el monitoreo de sequías.

Los trece indicadores no incluidos en el manual de la OMM que los participantes en el cuestionario consideraron muy eficaces para la mayoría de las zonas climáticas fueron: situación o estado de los cultivos; profundidad o nivel del agua subterránea; precipitación fuera de lo normal; percentiles de precipitación; rangos o pautas de precipitación; impactos de la sequía registrados; niveles de almacenamiento de embalses; humedad del suelo, caudales o flujos de corriente; temperaturas fuera de lo normal; rangos de temperatura; verdor de la vegetación, y consumo (demanda) de agua. La humedad del suelo destacó por ser el único indicador calificado como muy eficaz para *todas* las zonas climáticas en América del Norte, además de recibir tal calificación por una vasta mayoría de los participantes de cada una de las distintas zonas climáticas. Otros dos indicadores —situación o estado de los cultivos y niveles de almacenamiento de embalses— recibieron cada uno calificaciones de alta eficacia para 33 de las 34 zonas climáticas (cuadros 11, 20, 30, 39 y 48). Los resultados descritos sugieren lo valioso que sería incluir estos indicadores en cualquier revisión futura del *Manual de indicadores e índices de sequía* de la OMM.

Porcentaje de precipitación habitual

El porcentaje de precipitación habitual (PNP, por sus siglas en inglés) implica un cálculo sencillo que puede utilizarse para comparar cualquier periodo en un lugar determinado. Sin embargo, este indicador no aporta información relativa a lo extraordinario de un evento de precipitación. El Índice Estandarizado de Precipitación (*Standardized Precipitation Index*, SPI), en cambio, se basa en registros históricos de precipitación para calcular una probabilidad de lluvia en periodos de entre uno y 48 meses para un lugar determinado. El SPI, por lo tanto, tiene mayor aplicabilidad que el PNP (Heim, en correspondencia).

Las calificaciones positivas que los participantes en el cuestionario dieron al PNP para la mayoría de las zonas climáticas en América del Norte fueron un tema a explorar en los seminarios web asociados con esta iniciativa. Se preguntó a los participantes sobre su familiaridad con el PNP; en qué estribaba la importancia de este indicador, en comparación con otros indicadores, y en qué forma ayuda a entender la sequía (véase el apartado “Métodos”).

Los participantes señalaron que el PNP se entiende bien, incluso entre quienes no son expertos: el cálculo es simple y ello facilita su comprensión y comunicación. Además, permite a los investigadores llevar a cabo un primer examen de las condiciones de un área específica y ayuda a decidir qué otros indicadores deben contemplarse. Sin embargo —y en ello coincidieron los participantes—, aunque el PNP ayuda a entender la ocurrencia básica de un evento, no esclarece qué ocurre con el paso del tiempo: este indicador no da cuenta de las irregularidades en términos de datos derivadas de fenómenos meteorológicos (tormentas, por ejemplo), y no resulta eficaz en relación con la producción agrícola, ya que en muchos lugares las lluvias anuales se presentan en reducidas ocasiones o en una temporada corta, por lo que basarse exclusivamente en el PNP podría dar lugar a que en otras temporadas los cultivos se viesen sometidos a estrés al no disponer de agua con la frecuencia conveniente.

Cuadro 49. Ocurrencia de sequía en América del Norte, en los últimos diez años

| País | Sí | No | No sé |
|----------------|------------|----------|-----------|
| Canadá | 24 | 2 | 3 |
| Estados Unidos | 76 | - | 2 |
| México | 18 | 2 | 6 |
| Total | 118 | 4 | 11 |

Nota: Los datos indican el número de respuestas obtenidas.

Cuadro 50. Frecuencia de eventos de sequía en América del Norte

| País | Frecuencia de eventos de sequía (en años) | | | |
|----------------|---|-----------|-----------|----------|
| | De 1 a 2 | De 3 a 5 | Más de 5 | No sé |
| Canadá | 7 | 7 | 4 | 1 |
| Estados Unidos | 14 | 20 | 6 | 3 |
| México | 4 | 11 | 34 | - |
| Total | 25 | 38 | 44 | 4 |

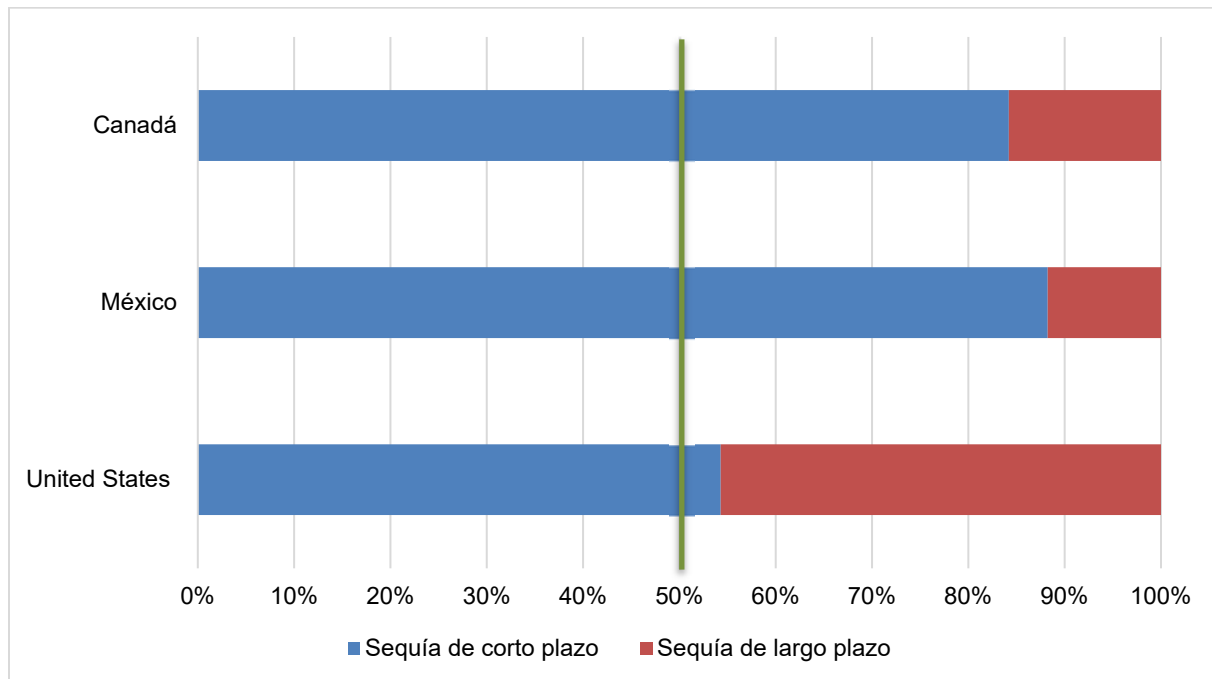
Notas: Los datos indican el número de respuestas obtenidas. La frecuencia de eventos de sequía se refiere a qué tan a menudo se experimentaron episodios de sequía en los últimos diez años.

Cuadro 51. Duración de la sequía típica en América del Norte

| País | Duración de la sequía (en meses) | | | | Sequía de corto plazo | Sequía de largo plazo |
|----------------|----------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------------------|-----------------------|
| | De 1 a 3 | De 3 a 6 | De 6 a 12 | Más de 12 | | |
| Canadá | 8 | 8 | 1 | 2 | 16 | 3 |
| Estados Unidos | 14 | 24 | 11 | 21 | 38 | 32 |
| México | 5 | 10 | 1 | 1 | 15 | 2 |
| Total | 27 | 42 | 13 | 24 | 69 | 37 |

Notas: Los datos indican el número de respuestas obtenidas. Es importante observar que los datos difirieron para episodios de sequía de largo y corto plazos. La sequía de corto plazo tiene una duración de menos de seis meses; la de largo plazo dura seis meses o más.

Gráfica 20. Duración de la sequía típica en América del Norte: comparación entre corto y largo plazos



Cuadro 52. Factores que influyen en la elección de índices e indicadores en América del Norte

| Índice o indicador | Canadá | Estados Unidos | México |
|--|--------|----------------|--------|
| Disponibilidad de datos pertinentes y requeridos para calcular el índice o indicador | 69% | 62% | 67% |
| Complejidad o dificultad de los cálculos requeridos | - | - | - |
| Pertinencia del índice o indicador para el área o región de interés | 69% | 75% | - |
| Familiaridad con el índice o indicador específico | 62% | 71% | - |
| Historial de índices e indicadores utilizados previamente en el área o región de interés | 62% | 58% | - |
| Número de respuestas | 13 | 9 | 55 |

Cuadro 53. Desempeño de los indicadores en toda el área geográfica de interés en América del Norte

| País | Los índices e indicadores se desempeñan con la misma eficacia | Los índices e indicadores <u>no</u> se desempeñan con la misma eficacia |
|----------------|---|---|
| Canadá | 5 | 12 |
| Estados Unidos | 26 | 30 |
| México | 4 | 5 |
| Total | 35 | 47 |

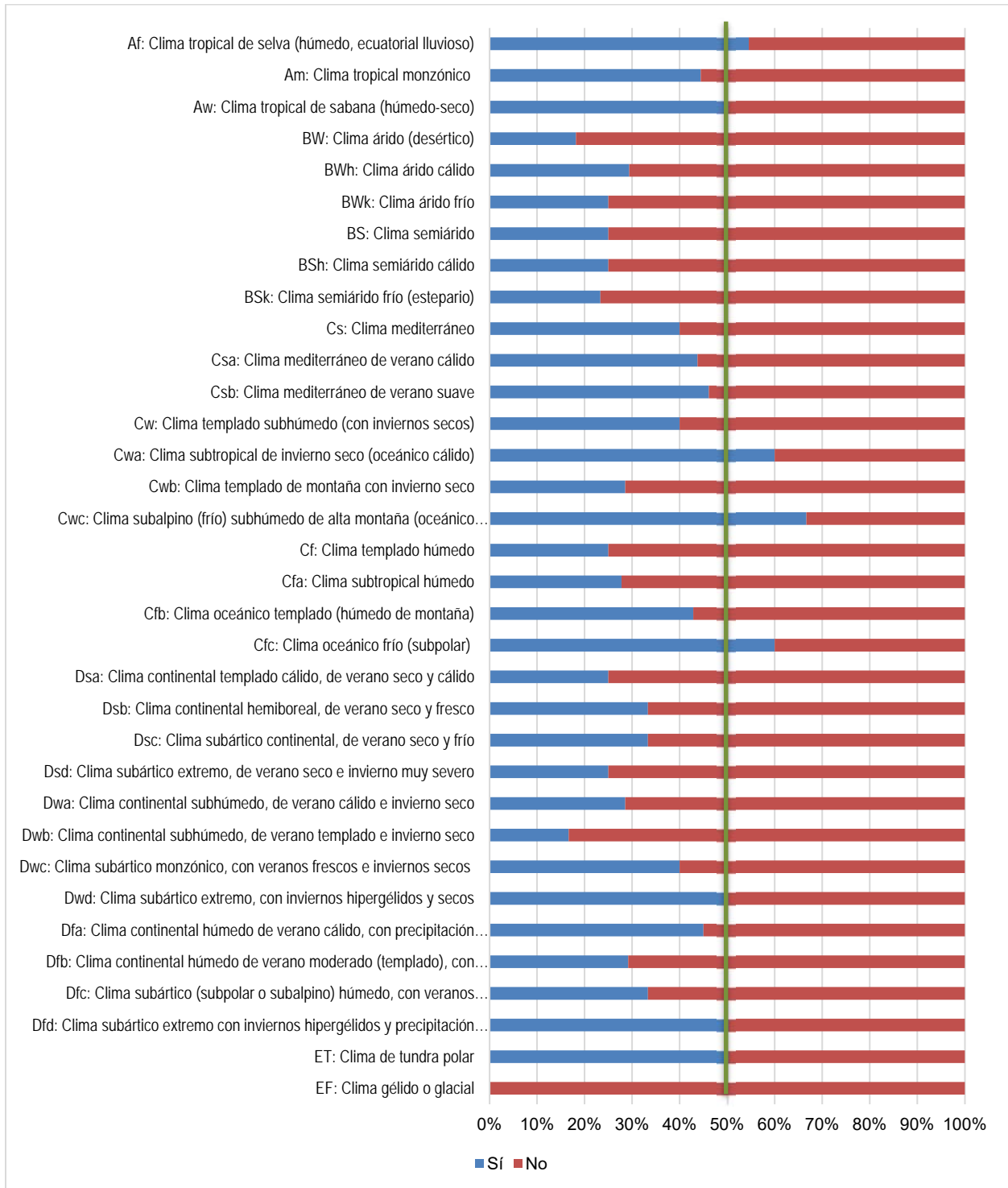
Nota: Los datos indican el número de respuestas obtenidas.

Cuadro 54. Desempeño de los indicadores en distintas temporadas en América del Norte

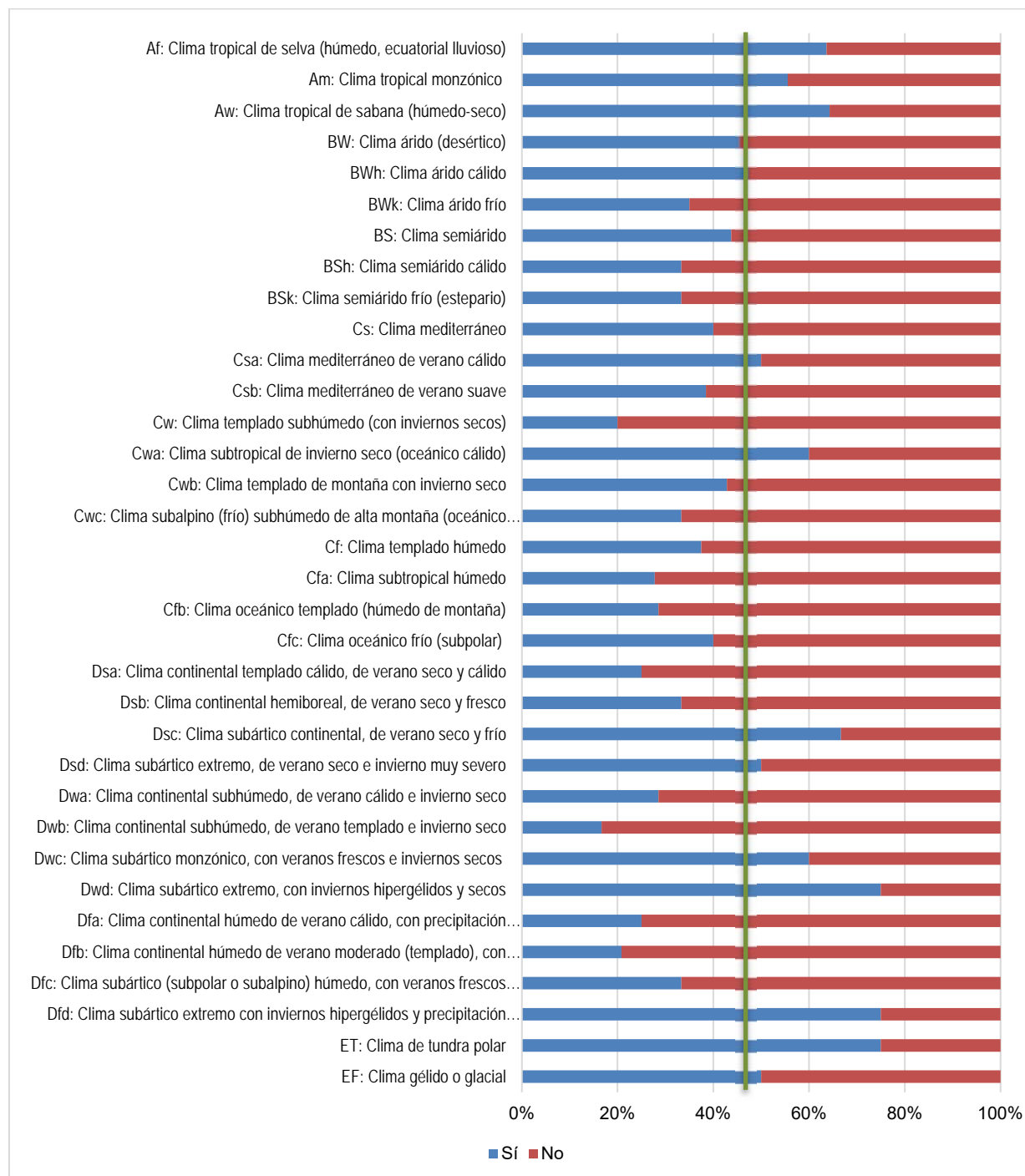
| País | Los índices e indicadores se desempeñan con la misma eficacia | Los índices e indicadores <u>no</u> se desempeñan con la misma eficacia |
|----------------|---|---|
| Canadá | 6 | 11 |
| Estados Unidos | 27 | 29 |
| México | 5 | 4 |
| Total | 38 | 44 |

Nota: Los datos indican el número de respuestas obtenidas.

Gráfica 21. ¿Se desempeñan los indicadores con la misma eficacia en distintas áreas geográficas de responsabilidad, por zona climática?



Gráfica 22. ¿Se desempeñan los indicadores con la misma eficacia en distintas temporadas, por zona climática?



Bibliografía

- Arnfield, A. J. (2020), “Köppen climate classification”, Encyclopædia Britannica Online, en: <www.britannica.com/science/Koppen-climate-classification> (consulta realizada el 8 de septiembre de 2020).
- Beck, H. E., N. E. Zimmermann, T. R. McVicar, N. Vergopolan, A. Berg y E. F. Wood (2018), “Present and future Köppen–Geiger climate classification maps at 1-km resolution”, *Scientific data*, vol. 5, núm. 180214; disponible en: <<https://doi.org/10.1038/sdata.2018.214>>.
- Peel, M. C., B. L. Finlayson y T. A. McMahon (2007), “Updated world map of the Köppen–Geiger climate classification”, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, vol. 11, núm. 5, pp. 1633-1644.
- OMM y GWP (2016), *Manual de indicadores e índices de sequía*, M. Svoboda y B. A. Fuchs (eds.), Organización Meteorológica Mundial y Asociación Mundial para el Agua, Programa de Gestión Integrada de Sequías, serie 2 de herramientas y directrices para la gestión integrada de sequías, Ginebra; disponible en: <www.droughtmanagement.info/literature/WMO-GWP_Manual-de-indicadores_2016>.

Comunicaciones personales

Heim, R. Jr., meteorólogo, División de Ciencias y Servicios Climáticos, Departamento de Análisis y Síntesis Climáticos, Sección de Monitoreo, Centros Nacionales de Información Ambiental (*National Centers for Environmental Information*, NCEI), Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (*National Oceanic and Atmospheric Administration*, NOAA), Estados Unidos. Correspondencia electrónica con E. Cooper.

Apéndice A. Clasificación climática de Köppen

Las descripciones climáticas originales de Köppen han sido revisadas por diferentes autores y pueden variar según las fuentes. Asimismo, algunas descripciones utilizadas en la encuesta en línea fueron editadas para fines de concisión; las cuales pueden no corresponder al texto presentado a continuación. Cualquier discrepancia es menor y no significativa con relación a los resultados del estudio.

| Climas tropicales (grupo A) | |
|--------------------------------|--|
| Clasificación | Descripción |
| Af | Clima tropical de selva (húmedo, ecuatorial lluvioso) |
| Am | Clima tropical monzónico |
| Aw | Clima tropical de sabana (húmedo-seco) |
| Climas secos (grupo B) | |
| Clasificación | Descripción |
| BW | Clima árido (desértico) |
| BWh | Clima árido cálido |
| BWk | Clima árido frío |
| BS | Clima semiárido |
| BSh | Clima semiárido cálido |
| BSk | Clima semiárido frío (estepario) |
| Climas templados (grupo C) | |
| Clasificación | Descripción |
| Cs | Clima mediterráneo |
| Csa | Clima mediterráneo de verano cálido |
| Csb | Clima mediterráneo de verano suave |
| Cw | Clima templado subhúmedo (con inviernos secos) |
| Cwa | Clima subtropical de invierno seco (oceánico cálido) |
| Cwb | Clima templado de montaña con invierno seco |
| Cwc | Clima subalpino (frío) subhúmedo de alta montaña (oceánico subpolar) |
| Cf | Clima templado húmedo |
| Cfa | Clima subtropical húmedo |
| Cfb | Clima oceánico templado (húmedo de montaña) |
| Cfc | Clima oceánico frío (subpolar) |
| Climas continentales (grupo D) | |
| Clasificación | Descripción |
| Dsa | Clima continental templado cálido, de verano seco y cálido |
| Dsb | Clima continental hemiboreal, de verano seco y fresco |
| Dsc | Clima subártico continental, de verano seco y frío |
| Dsd | Clima subártico extremo, de verano seco e invierno muy severo |
| Dwa | Clima continental subhúmedo, de verano cálido e invierno seco |
| Dwb | Clima continental subhúmedo, de verano templado e invierno seco |
| Dwc | Clima subártico monzónico, con veranos frescos e inviernos secos |
| Dwd | Clima subártico extremo, con inviernos hipergélidos y secos |
| Dfa | Clima continental húmedo de verano cálido, con precipitación durante todo el año |
| Dfb | Clima continental húmedo de verano moderado (templado), con precipitación durante todo el año |
| Dfc | Clima subártico (subpolar o subalpino) húmedo, con veranos frescos y precipitación todo el año |
| Dfd | Clima subártico extremo con inviernos hipergélidos y precipitación todo el año |
| Climas polares (grupo E) | |
| Clasificación | Descripción |
| ET | Clima de tundra polar |

| | |
|----|------------------------|
| EF | Clima gélido o glacial |
|----|------------------------|

Fuentes: Adaptación de Arnfield (2020); Beck *et al.* (2018), y Heim (en correspondencia).

Apéndice B. Índices e indicadores

La siguiente es una lista completa de los indicadores de sequía examinados por los participantes en el cuestionario en línea de la CCA, cuyos resultados aportaron la información que integra el presente informe.

| Índices e indicadores de meteorología | |
|--|--|
| Índice de Sequía de Referencia para la Agricultura (ARID) | Índice de Sequía de la NOAA (NDI) |
| Índice de Anomalía de la Aridez (AAI) | Índice de Severidad de Sequía de Palmer (PDSI) |
| Índice de Aridez (AI) | Índice Z de Palmer |
| Índice Z de China (CZI) | Porcentaje de precipitación habitual (PNP) |
| Índice de Humedad de los Cultivos (CMI) | Índice de Anomalía Pluviométrica (RAI) |
| Índice de Sequía Específico para Cultivos (CSDI) | Índice para Reclamaciones por Sequía (RDI) |
| Deciles de precipitación | Índice Autocalibrado de Severidad de Sequía de Palmer (sc-PDSI) |
| Índice de Zonas de Sequía (DAI) | Índice Normalizado de Anomalías (SAI) |
| Índice de Reconocimiento de Sequías (DRI) | Índice Estandarizado de Precipitación y Evapotranspiración (SPEI) |
| Índice de Sequía Efectiva (EDI) | Índice Estandarizado de Precipitación (SPI) |
| Coefficiente Hidrotérmico de Selyaninov (HTC) | Anomalía ponderada y normalizada de la precipitación (WASP) |
| Índice de Sequía Keetch-Byram (KBDI) | |
| Índices e indicadores de humedad del suelo | |
| 1- <i>evapotranspiración real/evapotranspiración potencial</i> (1-AET/PET) | Índice del Déficit de Humedad del Suelo (SMDI) |
| Índice del Déficit de Evapotranspiración (ETDI) | Almacenamiento de agua del suelo (SWS) |
| Anomalía de la humedad del suelo (SMA) | |
| Índices e indicadores de hidrología | |
| Índice Agregado de Sequía (ADI) | Índice Normalizado de los Caudales Fluviales (SSFI) |
| Índice de Sequía Hidrológica de Palmer (PHDI) | Índice Normalizado del Nivel del Agua (SWI) |
| Índice Normalizado del Suministro de Embalses (SRSI) | Índice de Sequía de los Caudales Fluviales (SDI) |
| Índice Normalizado de la Fusión de la Nieve y la Lluvia (SMRI) | Índice del Abastecimiento de las Aguas Superficiales (SWSI) |
| Índices e indicadores de teledetección | |
| Índice Mejorado de Vegetación (EVI) | Índice de Condiciones de la Vegetación (VCI) |
| Índice de Estrés por Evaporación (ESI) | Índice de Respuesta a la Sequía de la Vegetación (VegDRI) |
| Índice Diferencial Normalizado de Vegetación (NDVI) | Índice de Salud de la Vegetación (VHI) |
| Índice Diferencial de Agua Normalizado (NDWI) e Índice de Agua en la Superficie Terrestre (LSWI) | Índice de Satisfacción de la Demanda de Agua (WRSI) y WRSI geoespacial |
| Índice de Vegetación Ajustado al Suelo (SAVI) | |
| Índice de las Condiciones de Temperatura (TCI) | |
| Índices e indicadores mixtos o modelados | |
| Indicador Combinado de Sequía (CDI) | Índice Estandarizado de Sequía de Múltiples Variables (MSDI) |
| Sistema Mundial Integrado de Vigilancia y Predicción de Sequías (GIDMaPS) | Monitor de Sequía de Estados Unidos (USDM) |
| Sistema Mundial de Asimilación de Datos de la Superficie Terrestre (GLDAS) | |

Índices e indicadores no incluidos en el *Manual de indicadores e índices de sequía* de la OMM

| | |
|--|--|
| Pronósticos de 5 días | Almacenamiento de embalses |
| Pronósticos de 8 a 14 días | Pronósticos estacionales |
| Pronósticos de 30 días | Humedad del suelo |
| Situación o estado de los cultivos | Caudales o flujos de corriente |
| Profundidad (nivel) del agua subterránea | Temperaturas fuera de lo normal |
| Prohibiciones locales de quema | Rangos de temperatura |
| Informes de los medios de comunicación | Monitor de Sequía de Estados Unidos (USDM) |
| Precipitación fuera de lo normal | Verdor de la vegetación |
| Percentiles de precipitación | Calidad del agua |
| Rangos o pautas de precipitación | Consumo (demanda) de agua |
| Impactos de la sequía registrados | Ubicación e informes de incendios forestales |

Apéndice C. Preguntas del cuestionario

1. ¿En qué país trabaja actualmente?
2. ¿En qué provincia o territorio de Canadá trabaja?
3. ¿En qué distrito federal, estado, territorio o región de Estados Unidos trabaja?
4. ¿En qué entidad federativa o estado de México trabaja?
5. ¿Cuál es el nombre de la población o ciudad donde trabaja actualmente? Si no trabaja en una ciudad o población, indique la ciudad o población más cercana a su lugar de trabajo.
6. ¿Cuál es su área geográfica de responsabilidad (distrito federal, estado, territorio o región de Estados Unidos)?
7. ¿Cuál es su área geográfica de responsabilidad (provincia o territorio de Canadá)?
8. ¿Cuál es su área geográfica de responsabilidad (entidad federativa o estado de México)?
9. En los últimos diez años, ¿ha experimentado sequías el área geográfica a su cargo?
10. En términos generales, en los últimos diez años, ¿con qué frecuencia ha experimentado sequías su área geográfica de responsabilidad?
11. ¿Cuál es la duración (en meses) de una sequía típica en el área geográfica a su cargo?
12. En la actualidad, ¿qué tanto le preocupa la posible ocurrencia de una sequía en el área geográfica bajo su responsabilidad? Califique en una escala del 1 (no me preocupa) al 5 (me preocupa enormemente).
13. ¿Desempeña usted actualmente algún un cargo oficial en el manejo o el monitoreo de sequías? Por ejemplo, en la determinación de índices o indicadores del consumo de agua o monitoreo.
14. ¿Desde qué sector participa o desempeña usted un papel en relación con la sequía?
15. ¿Cuál es la población total en el área o las áreas geográficas a su cargo?
16. ¿Cuánto tiempo dedica actualmente a trabajar en las siguientes actividades?
17. La sequía es un fenómeno complejo, difícil de definir. Los estudiosos del clima suelen clasificar la sequía en los siguientes cinco tipos:
 - a. *Meteorológica*: predominio de patrones de tiempo seco en un área.
 - b. *Hidrológica*: periodo en que los bajos niveles de agua se vuelven evidentes en arroyos, embalses y cuerpos de agua subterráneos.
 - c. *Agrícola*: déficit de humedad en que los cultivos se ven afectados.
 - d. *Socioeconómica*: condición que impacta la oferta y demanda de productos básicos.
 - e. *Ecológica*: situación en que ecosistemas terrestres y acuáticos se ven afectados.¿Qué impacto tiene cada uno de estos tipos de sequía el área geográfica bajo su responsabilidad? Califique de 1 (sin afectación) a 5 (grave afectación).
18. El sistema de clasificación de Köppen divide los climas en cinco grupos principales. ¿Qué zona o zonas climáticas de Köppen corresponden a su(s) área(s) geográfica(s) de responsabilidad? Seleccione en el listado todas las opciones que correspondan.
19. ¿Utiliza actualmente en su trabajo el *Manual de indicadores e índices de sequía* de la Organización Meteorológica Mundial (OMM)?

20. *Para sequías de corto plazo:* En relación con el área geográfica bajo su responsabilidad, califique cada uno de los siguientes índices e indicadores de METEOROLOGÍA de poco eficaz (1) a muy eficaz (5).
21. *Para sequías de largo plazo:* En relación con el área geográfica bajo su responsabilidad, califique cada uno de los siguientes índices e indicadores de METEOROLOGÍA de poco eficaz (1) a muy eficaz (5).
22. *Para sequías de corto plazo:* En relación con el área geográfica bajo su responsabilidad, califique cada uno de los siguientes índices e indicadores de HUMEDAD DEL SUELO de poco eficaz (1) a muy eficaz (5).
23. *Para sequías de largo plazo:* En relación con el área geográfica bajo su responsabilidad, califique cada uno de los siguientes índices e indicadores de HUMEDAD DEL SUELO de poco eficaz (1) a muy eficaz (5).
24. *Para sequías de corto plazo:* En relación con el área geográfica bajo su responsabilidad, califique cada uno de los siguientes índices e indicadores de HIDROLOGÍA de poco eficaz (1) a muy eficaz (5).
25. *Para sequías de largo plazo:* En relación con el área geográfica bajo su responsabilidad, califique cada uno de los siguientes índices e indicadores de HIDROLOGÍA de poco eficaz (1) a muy eficaz (5).
26. *Para sequías de corto plazo:* En relación con el área geográfica bajo su responsabilidad, califique cada uno de los siguientes índices e indicadores de TELEDETECCIÓN de poco eficaz (1) a muy eficaz (5).
27. *Para sequías de largo plazo:* En relación con el área geográfica bajo su responsabilidad, califique cada uno de los siguientes índices e indicadores de TELEDETECCIÓN de poco eficaz (1) a muy eficaz (5).
28. *Para sequías de corto plazo:* En relación con el área geográfica bajo su responsabilidad, califique cada uno de los siguientes índices e indicadores MIXTOS O MODELADOS de poco eficaz (1) a muy eficaz (5).
29. *Para sequías de largo plazo:* En relación con el área geográfica bajo su responsabilidad, califique cada uno de los siguientes índices e indicadores MIXTOS O MODELADOS de poco eficaz (1) a muy eficaz (5).
30. ¿Qué factores afectan su selección de índices e indicadores a utilizar en el área geográfica bajo su responsabilidad? Califique cada uno de los siguientes de poco importantes (1) a sumamente importantes (5).
31. ¿Funcionan igualmente bien (se desempeñan con la misma eficacia) en *toda* el área geográfica a su cargo los indicadores e índices que utiliza?
32. Si su respuesta es “No” [a la pregunta 31], sírvase explicar:
33. ¿Resultan igualmente adecuados (se desempeñan con la misma eficacia) durante las diferentes temporadas del año los indicadores e índices que utiliza en el área geográfica a su cargo?
34. Si su respuesta es “No” [a la pregunta 33], sírvase explicar:
35. Los siguientes indicadores no están incluidos en el *Manual de indicadores e índices de sequía* de la OMM. En relación con el área geográfica bajo su responsabilidad, califique cada uno de 1 (poca importancia) a 5 (suma importancia).

36. ¿Usa usted OTRO(S) indicador(es) para monitorear episodios de sequía en el área geográfica de la que es responsable? Explique.
37. La sequía puede tener múltiples efectos que se traslapan en la vida humana y el medio ambiente: impactos económicos, ecológicos y sociales. En relación con el área geográfica a su cargo, califique cada uno de los efectos ECONÓMICOS de la sequía en una escala del 1 (poco impacto) al 5 (alto impacto).
38. En relación con el área geográfica de la que usted es responsable, califique cada uno de los siguientes efectos AMBIENTALES de la sequía en una escala del 1 (poco impacto) al 5 (alto impacto).
39. En relación con el área geográfica de la que usted es responsable, califique cada uno de los siguientes efectos SOCIALES de la sequía en una escala del 1 (poco impacto) al 5 (alto impacto).
40. ¿Tiene comentarios adicionales?
41. Opcional. Escriba su nombre, correo electrónico, afiliación.