

Herramientas para el monitoreo y control de sequías: un metaanálisis en contexto

Tools for drought monitoring and control: a meta-analysis in context

Esvillel Ferrer Pozo

Delegación Provincial de Recursos Hidráulicos
Guantánamo, Cuba.

esvillel@hidro.gob.cu, esvillel@gmail.com

 ORCID: 0000-0003-1011-7424

Liliana Gómez Luna

Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado
Universidad de Oriente
Santiago de Cuba, Cuba

lilianag@uo.edu.cu

 ORCID: 0000-0002-1282-3392

Información del artículo

Recibido: 29-03-2022

Revisado: 30-10-2022

Aceptado: 03-11-2022

ISSN 2340-8472

ISSNe 2340-7743

DOI 10.17561/AT.22.7045

 **CC-BY**

© Universidad de Jaén (España).

Seminario Permanente Agua, Territorio y Medio Ambiente (CSIC)

RESUMEN

La investigación consistió en realizar un metaanálisis sobre herramientas de monitoreo y control de las sequías en todas sus manifestaciones, lo que permitió identificar como debilidad la existencia de datos poco consolidados sobre la sequía hidráulica. Se analizaron 3.116 artículos publicados en el período 2000-2020, identificando la gestión de la sequía como el tema más publicado. Se trabajaron otras métricas referidas al total de artículos y su distribución por años y países, la distribución por temas y por revistas, artículos y autores más citados. Se constató la existencia de 46 índices entre los más empleados para el monitoreo y control de la sequía a nivel mundial, sobresaliendo entre ellos los aplicados a la sequía meteorológica. No se encontró referencia de índices aplicados para la gestión de la sequía hidráulica, lo cual constituye un reto para los investigadores y gestores de los recursos hídricos.

PALABRAS CLAVE: Índices, Sequías, Metaanálisis, Sequía hidráulica.

SUMMARY

The research consisted of performing a meta-analysis of drought monitoring and control tools in all their manifestations, which identified the existence of little consolidated data on hydraulic as a weakness. A total of 3,116 articles published in the period 2000-2020 were analyzed, identifying drought management as the most published topic. Other metrics were worked on, referring to the total number of articles and their distribution by year and country, the distribution by topics and by most cited journals, articles and authors. A total of 46 indices were found to be among the most widely used for drought monitoring and control at the global level, with those applied to meteorological drought standing out among them. No reference was found of indices applied to the management of hydraulic drought, which constitutes a challenge for researchers and managers of water resources.

KEYWORDS: Indices, Droughts, Meta-analysis, Hydraulic drought.

Ferramentas para monitoramento e controle da seca: uma meta-análise em contexto

RESUMO

A pesquisa consistiu em realizar uma meta-análise sobre ferramentas de monitoramento e controle de secas em todas as suas manifestações, o que permitiu identificar como fragilidade a existência de dados pouco consolidados sobre a seca hidráulica. Foram analisados 3.116 artigos publicados no período 2000-2020, identificando a gestão da seca como o tema mais publicado. Outras métricas se referiam ao número total de artigos e sua distribuição por anos e países, distribuição por tópicos e por periódicos, artigos e autores mais citados. Verificou-se a existência de 46 índices entre os mais utilizados para o monitoramento e controle da seca em todo o mundo, destacando-se entre eles os aplicados à seca meteorológica. Não foi encontrada referência de índices aplicados para a gestão da seca hidráulica, o que constitui um desafio para pesquisadores e gestores de recursos hídricos.

PALAVRAS-CHAVE: Índices, Secas, Meta-análise, Seca hidráulica.

Outils de suivi et de contrôle de la sécheresse: une meta-analyse en contexte

RÉSUMÉ

La recherche a consisté à réaliser une méta-analyse sur les outils de suivi et de contrôle des sécheresses dans toutes leurs manifestations, ce qui a permis d'identifier comme une faiblesse l'existence de peu de données consolidées sur la sécheresse hydraulique. 3 116 articles publiés au cours de la période 2000-2020 ont été analysés, identifiant la gestion de la sécheresse comme le sujet le plus publié. D'autres métriques portant sur le nombre total d'articles et leur

répartition par années et par pays, la répartition par thèmes et par revues, les articles et les auteurs les plus cités ont été travaillées. L'existence de 46 indices parmi les plus utilisés pour le suivi et le contrôle de la sécheresse dans le monde a été vérifiée, se démarquant parmi eux ceux appliqués à la sécheresse météorologique. Aucune référence d'indices appliqués pour la gestion de la sécheresse hydraulique n'a été trouvée, ce qui constitue un défi pour les chercheurs et les gestionnaires des ressources en eau.

MOTS CLÉS: Indices, Sécheresse, Méta-analyse, Sécheresse hydraulique.

Strumenti per il monitoraggio e il controllo della siccità: una meta-analisi nel contesto

SOMMARIO

La ricerca è consistita nell'effettuare una meta-analisi sugli strumenti per il monitoraggio e il controllo della siccità in tutte le sue manifestazioni, che ha permesso di identificare come punto di debolezza l'esistenza di pochi dati consolidati sulla siccità idraulica. Sono stati analizzati 3.116 articoli pubblicati nel periodo 2000-2020, individuando nella gestione della siccità l'argomento più pubblicato. Sono state elaborate altre metriche riferite al numero totale di articoli e alla loro distribuzione per anni e paesi, alla distribuzione per argomenti e per riviste, articoli e autori più citati. È stata verificata l'esistenza di 46 indici tra i più utilizzati per il monitoraggio e il controllo della siccità nel mondo, tra cui spiccano quelli applicati alla siccità meteorologica. Non è stato trovato alcun riferimento di indici applicati per la gestione della siccità idraulica, che costituisce una sfida per ricercatori e gestori delle risorse idriche.

PAROLE CHIAVE: l'indici, Siccità, Meta-analisi, Siccità idraulica.

Introducción

En el desarrollo económico de cualquier país, constituye un elemento relevante el aprovechamiento sostenible de los recursos hídricos, siendo uno de los aspectos fundamentales la planificación de su uso debido a su distribución limitada sobre la superficie terrestre, la extensión de los períodos de sequía como consecuencia del cambio climático¹ y la necesidad del recurso agua para el desarrollo social y para la vida. Paradójicamente, las sequías se extienden y la disponibilidad de agua disminuye en todas partes, por lo que el desarrollo de herramientas para el monitoreo y control de la sequía ha sido de interés para las instituciones encargadas de planificar y regular el uso de los recursos hídricos².

Gran parte del mundo actual se caracteriza por un patrón irregular de precipitaciones y por la elevada frecuencia de eventos climatológicos extremos. De entre todos estos eventos extremos, destaca la sequía como principal riesgo sistémico³. Estas se caracterizan por una deficiencia de precipitación que redundando en la escasez de agua⁴. Constituyen un fenómeno de impacto global de relativa complejidad, que afecta de manera importante al desarrollo y aprovechamiento de los recursos hídricos en una región. Se reconocen cuatro tipos: meteorológica, agrícola, hidrológica y socioeconómica⁵. Hay que destacar que en algunos países del Caribe insular, como Cuba, se define un quinto tipo de sequía, denominada sequía hidráulica, para referirse al déficit que se produce en los sistemas hidráulicos y que afecta a la disponibilidad de agua identificada para un territorio según Balance de Agua anual, agravado por las incidencias en las operaciones de los sistemas.

En el caso de Latinoamérica y el Caribe, caracterizados por un lado por poseer en su territorio una extrema humedad al concentrar el 31% de las fuentes de agua dulce del planeta, y por el otro, por la coexistencia de zonas altamente secas, no se observa, sin embargo, en esta región, una evaluación periódica de las leyes que atañen a los recursos hídricos por parte de los países involucrados, lo que permitiría una adaptación paulatina a los cambios producto del incremento

de la demanda de agua, las variaciones climáticas y el comportamiento de los usuarios, la economía y los impactos ambientales⁶.

La complejidad es una característica inherente de las sequías y su gestión, que se manifiesta desde la propia definición y caracterización del episodio, pasando a sus efectos e impactos, que derivan en distintos niveles de vulnerabilidad, y sistemas de gestión que engloban diferentes ámbitos y tipos de medidas⁷. Por tanto, el desarrollo de herramientas para su monitoreo y control debe incluir diferentes niveles de análisis y debe captar las especificidades del contexto afectado por la sequía⁸.

Teniendo en cuenta lo antes expuesto, en este artículo se realiza un análisis cuantitativo de revisiones de la literatura científica sobre herramientas para manejo integral de los diferentes tipos de sequía particularizando en la sequía hidráulica, término que ha sido poco desarrollado por los investigadores de las ciencias ambientales, lo que permitirá validar o contrastar la hipótesis sobre la existencia de herramientas no funcionales para el monitoreo y control de la sequía hidráulica en el proceso de gestión integrada del recurso agua.

El objetivo general de la presente investigación es desarrollar un metaanálisis dirigido a los estudios publicados, desde el año 2000 al 2020, que documentaron el empleo de índices como herramientas para el monitoreo y control de los eventos de cualquiera de las clasificaciones de sequía, diferenciando la sequía hidráulica. Al respecto, los autores consideran que reunir diferentes publicaciones relacionadas con la temática es necesario, ya que mucho se ha abordado sobre las sequías desde diferentes escalas espaciotemporales.

Procesar un gran número de información a escala mundial sobre un tema específico es un proyecto complejo, por lo que cabe resaltar la importancia del uso de tecnología para el análisis y procesamiento de la información, como se explica más adelante, sobre todo en esta época caracterizada por la propagación de las comunicaciones con una tendencia a la expansión de las publicaciones científicas.

¹ Domínguez *et al.*, 2019.

² Vilches *et al.*, 2014. Flores, 2014.

³ Gómez; Guerrero, 2019, 79-72.

⁴ Colotti; Cedeño; Montañez, 2013, 11-53.

⁵ Valiente, 2001, 59-80.

⁶ Bravo; Naranjo; Hidalgo, 2019, 43-54.

⁷ Urquillo, 2015, 2.

⁸ Méndez *et al.*, 2018, 112-123.

Consideraciones metodológicas

El metaanálisis es un método o técnica estadística que permite sintetizar cuantitativamente resultados de diferentes estudios, recopilados en una revisión sistemática, en un resultado final preciso⁹. La metodología para el estudio se basa en un enfoque mixto que reúne información y análisis cuantitativo y cualitativo de los índices para evaluar el estado de la sequía. Se parte del análisis crítico de artículos científicos seleccionados y compilados a partir del uso del *software* Harzing’s Publish o Perish 7. Para la búsqueda de los artículos publicados sobre la temática se utilizan combinaciones de términos de búsqueda¹⁰ como: sequía, índice de sequía meteorológica, índice de sequía agrícola, índice de sequía hidrológica, índice de sequía socioeconómica, índice de sequía hidráulica, modelo de gestión de las sequías y gestión integrada de las sequías.

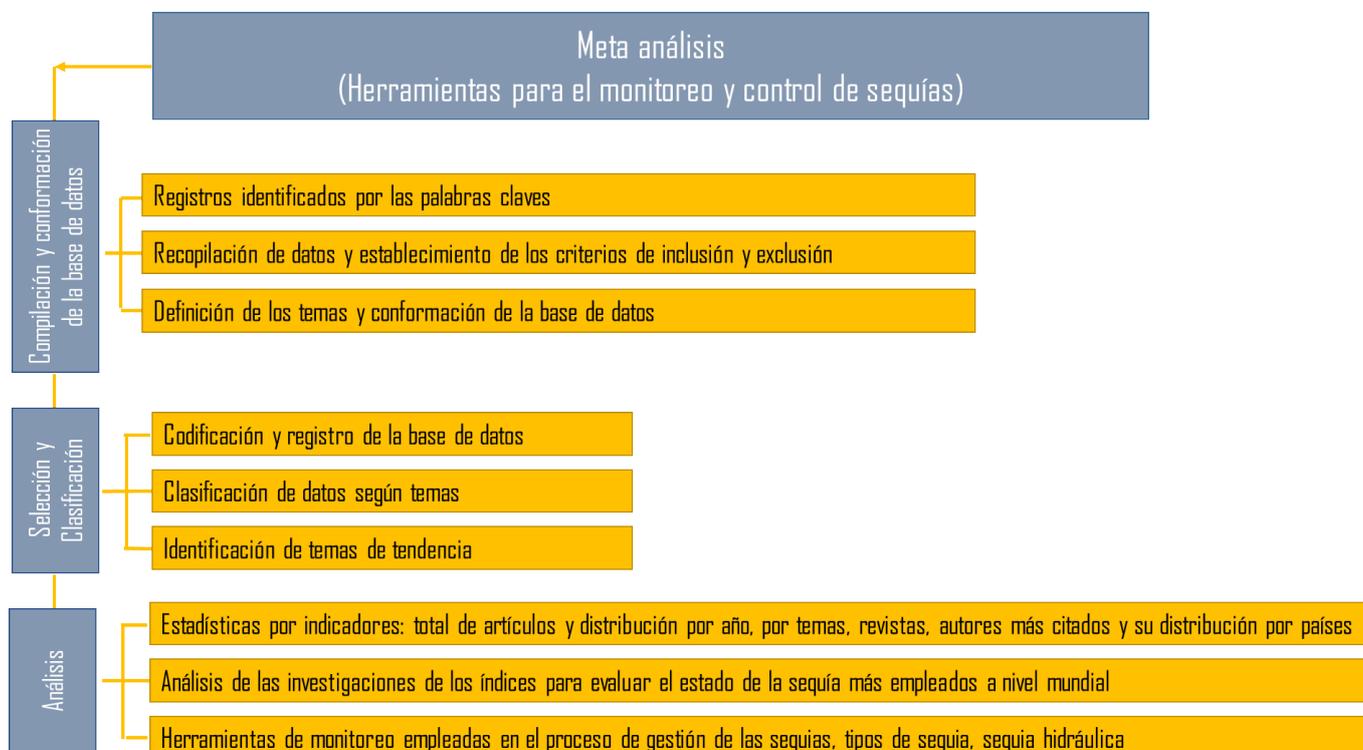
Los datos para efectuar el metaanálisis se adquirieron a partir de las bases Google Scholar y Crossref, además de exploraciones específicas, por artículos o por revista, en bases de datos especializadas. Se utilizó

como herramienta grafica el *software* estadístico Minitab en su versión 19.1.1.0. Para el análisis bibliográfico las fuentes documentales referenciadas incluyeron libros, artículos científicos, tesis doctorales y documentos de internet. Se utilizó como principal criterio de inclusión los artículos científicos publicados en el período comprendido entre 2000-2020. Para analizar la base de datos se tuvieron en cuenta los siguientes indicadores:

- Temas (temas principales y tendencias).
- Métricas y estadísticas:
 - Total de artículos y distribución por año.
 - Distribución de artículos por temas.
 - Distribución de artículos por revistas.
 - Artículos y autores más citados.
 - Distribución de trabajos por países.

Los artículos compilados, luego de la revisión según las diferentes combinaciones de términos de búsqueda, fueron examinados y sometidos a un proceso de selección, en el que fueron excluidos según los siguientes

Figura 1. Diagrama de ejecución del metaanálisis



Fuente: elaborado por los autores, 2021.

⁹ Escrig; Lluca; Granel, 2021, 44-21

¹⁰ Botella; Zamora, 2017.

criterios: repetidos, en otro formato (idioma distinto al español, inglés, francés, italiano y portugués), carencia de resumen, fuera del tema, y fuera de período (2000-2020).

En la figura 1 se presenta el diagrama con los principales pasos de la investigación.

Análisis de métricas y estadísticas

Total de artículos y distribución por año

Se identificó un total de 37.339 artículos con el descriptor general o palabra clave "sequía", de ellos el 66,7% (24.893) en idioma inglés. Es importante reconocer que no todos los documentos publicados son específicos para la gestión de las sequías ya que existe la tendencia a confundir fenómenos relacionados con el agua¹¹: escasez, aridez y desertificación. Una manera de diferenciarlos es atendiendo a su escala temporal y origen, pero también atendiendo a otros criterios¹². Por tanto, la estrategia de búsqueda debe estar bien diseñada para tener un universo adecuado de resultados. En este caso, de acuerdo con el objetivo de este trabajo, se seleccionaron descriptores o palabras clave específicos, priorizando la selección de artículos que refieren el uso de los índices para los diferentes tipos de sequía y los modelos de gestión de sequía.

Una búsqueda académica utilizando como descriptor "índice de sequía meteorológica" presentó el mayor volumen de artículos publicados con 16.468 resultados, de ellos 9.408 en idioma inglés. Con descriptor "índice de sequía agrícola" aparecen menos resultados, 1.920 del total, aunque aparecen otros 6.293 artículos que por su contenido se vinculan a esta revisión al referirse a índices en cultivos específicos que bien pueden ubicarse dentro de los índices de sequía agrícola, por lo que se totalizan 8.213 resultados, de ellos 5.998 en idioma inglés. Si se utiliza la palabra clave "índice de sequía hidrológica", los resultados se reducen a 7.467 de las búsquedas, de ellos 4.922 resultados en inglés. Con el criterio de búsqueda "índice de sequía socioeconómica" se registraron 4.422 artículos, de ellos el 26 % en inglés. Finalmente, si la búsqueda se restringe a "índice de sequía hidráulica" aparecen 769 resultados, de ellos 248 en inglés.

Los resultados evidencian que el criterio de búsqueda con menos publicaciones se corresponde con "índice

de sequía hidráulica", lo que denota que es dentro de las sequías el tipo menos estudiado a nivel mundial y/o regional. Esto se debe a que constituye un concepto relativamente joven, poco generalizado, y resalta que las herramientas para su monitoreo y control aún están poco consolidadas.

El empleo del descriptor "modelos de gestión de la sequía" permitió identificar 2.892 resultados, de ellos 812 en idioma inglés. Este tema está muy ligado a la propia gestión integrada de las sequías, descriptor con el que se registran 21.019 resultados, de ellos 11.551 en idioma inglés.

Se conformó una base de datos con los resultados obtenidos para cada descriptor, comparándose los resultados entre ellos para evitar repeticiones. De los 37.339 resultados obtenidos fueron descartados por repetición 10.243 (27%). Aplicando el resto de los criterios de exclusión fueron eliminados por encontrarse en otro formato 2.765 (7%), por carencia de resumen 1.788 (5%), por estar fuera del tema 18.233 (49%) y por encontrarse fuera del período 1.194 (3%). Luego de esta selección quedaron en total 3.116 artículos. Se afirma que el tema de las sequías ha sido muy estudiado, destacando las estrategias para minimizar sus efectos e impactos, así como la gestión integrada de las mismas con el empleo de índices, muy ampliamente difundido el empleo de índices de sequía meteorológica.

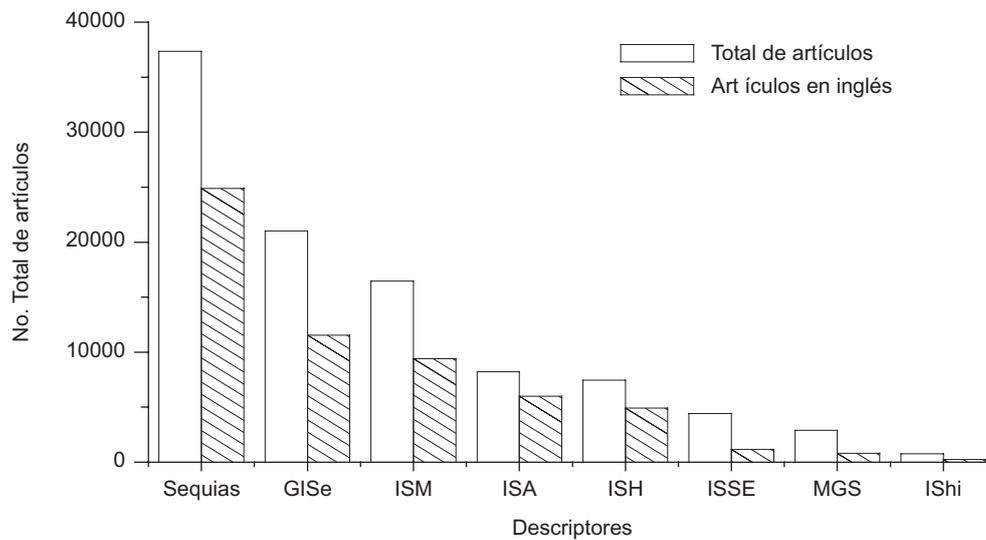
De acuerdo con el análisis general de los 3.116 artículos seleccionados en este metaanálisis, es posible diferenciar tres períodos: 2000-2009, con un promedio anual de publicaciones de 104 artículos, 2010-2017 con un aumento de las publicaciones y un promedio anual de 467 artículos, y 2018-2020, donde acontece una disminución gradual del número de artículos por año. Este comportamiento está muy ligado a la situación mundial de cambio climático y su enfrentamiento.

En el período 2000-2009 predominan estudios de cambio climático, con énfasis en las sequías como efecto del mismo. La mayoría de los artículos están enfocados al impacto potencial, con predicciones de falta de agua potable, afectaciones en la producción de alimentos y un aumento en los índices de mortalidad debido a inundaciones, tormentas, sequías y olas de calor. En este período se considera que el hecho que marcó las líneas de investigación de los artículos publicados en la etapa es la Cumbre del Milenio, celebrada del 6 a 8 de septiembre de 2000 en Nueva York, y considerada la reunión más grande de jefes de estado y gobierno de todos los tiempos y en donde se establecieron los ocho Objetivos de Desarrollo del Milenio.

¹¹ Ponvert; Delisles, 2016, 22-41.

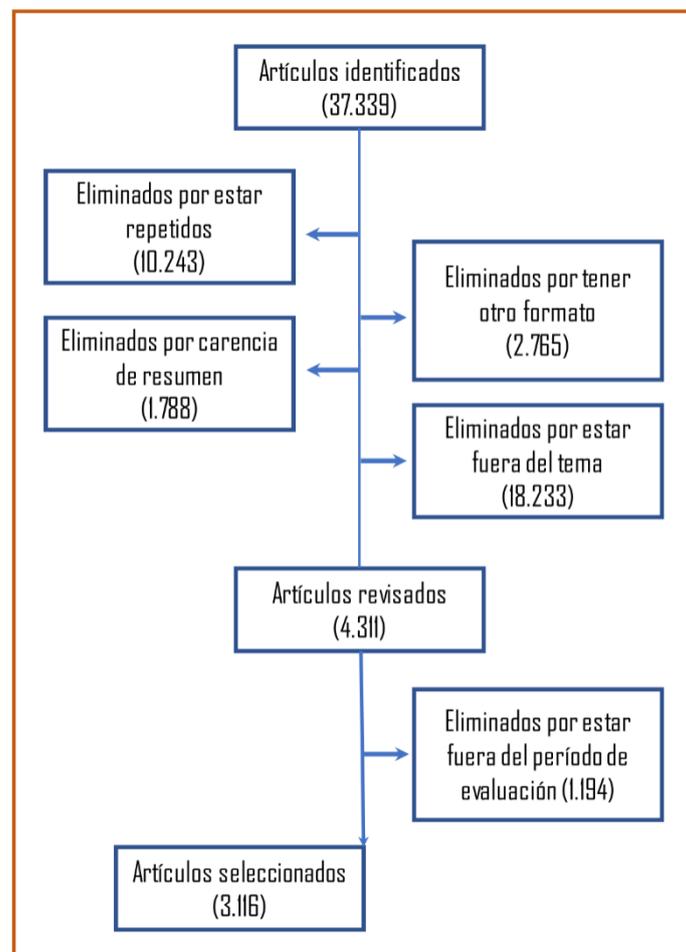
¹² Villacís; Marrero, 2017, 114-125.

Gráfico1. Comportamiento de los artículos publicados en Google Scholar y en Crossref, 2000-2020



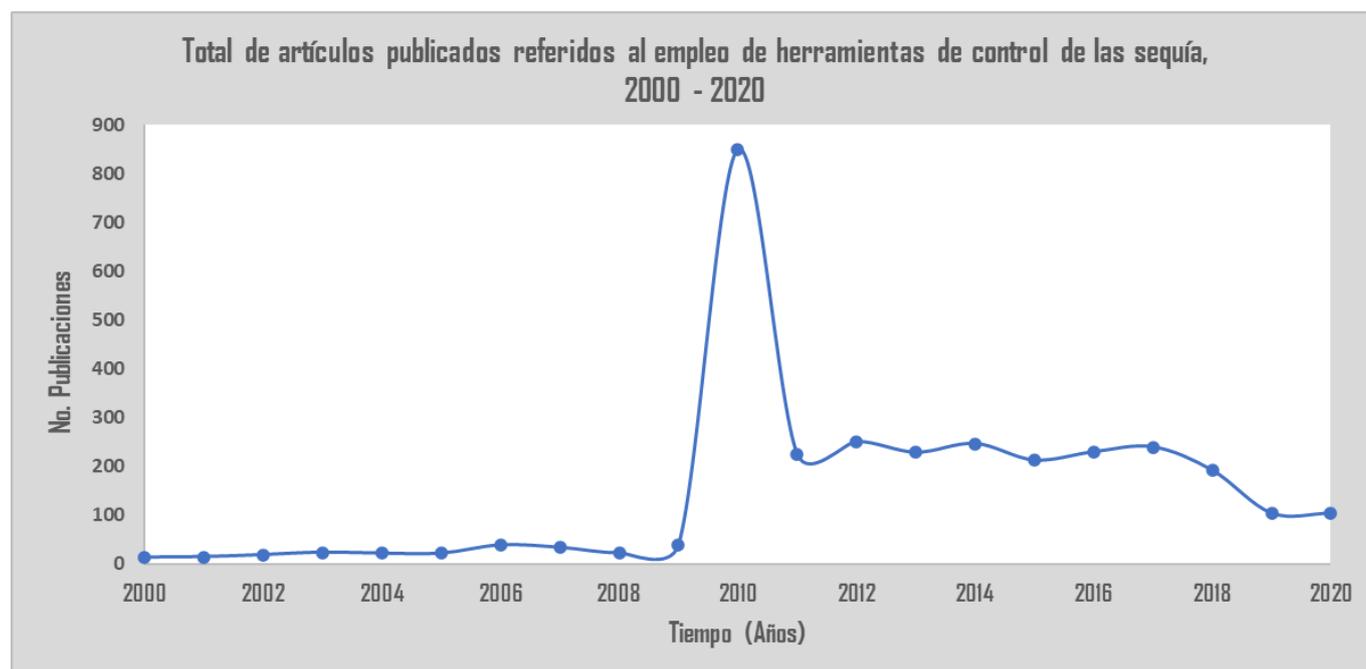
Fuente: elaborado por los autores, 2021. Leyenda: ISM: Índice de Sequía Meteorológica, ISH: Índice de Sequía Hidrológica, ISA: Índice de Sequía Agrícola, ISSE: Índice de Sequía Socioeconómica, Ishi: Índice de Sequía Hidráulica, MGS: Modelos de Gestión de Sequía, GISE: Gestión Integrada de las Sequías.

Figura 2. Esquema del proceso de selección de artículos publicados referidos al tema de estudio



Fuente: elaborado por los autores, 2021.

Gráfico 2. Comportamiento de los artículos publicados según años, n=3.116



Fuente: elaborado por los autores, 2021.

Es evidente el creciente interés por las investigaciones vinculadas a este tema durante el período 2010-2017. Por esta época se reconoce con mayor madurez que el cambio climático es el principal problema ambiental global que enfrenta la humanidad, vinculado al desarrollo: en 2012, la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo Sostenible y en 2015, la Cumbre de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo Sostenible dio origen a la Agenda 2030 y sus diecisiete objetivos. En el período se produce un alza en el 2010, que rompe con los esquemas de los últimos 20 años, en las publicaciones (28% de los artículos seleccionados), con una fuerte componente en la elaboración de propuestas de índices y herramientas para ejercer el monitoreo y hasta cierto punto el control de las sequías en sus cuatro formas establecidas. Es muy posible que esté vinculada a la intensa sequía meteorológica que sucedió en la región de América Latina y el Caribe en los años 2008-2010¹³, a la que se hace alusión en el 48,78% de los artículos de ese año.

En el último período, 2018-2020, las investigaciones vinculadas a la gestión integrada de las sequías, en general, están caracterizadas por la construcción de escenarios de peligro, vulnerabilidades y riesgos, así

como evaluaciones de tendencias de este fenómeno a corto, mediano y largo plazo. Se proponen nuevas herramientas de monitoreo y control de las sequías con el empleo de imágenes satelitales, los sistemas de información geográfica y la gestión de sistemas de alerta temprana.

Distribución de los artículos por temas

Se identificaron 14 temas relevantes en los 3.116 artículos seleccionados, que se asociaron en tres grupos. El mayor número de artículos está en el grupo “herramientas de monitoreo y control de las sequías” con 1.158 resultados, seguido del grupo “sequía: aspectos teóricos, definición y clasificación” con 1.078 y en el grupo “gestión integrada de la sequía” se contaron 880. Por otra parte, los temas más abordados fueron los relacionados con los sistemas de gestión de la sequía (621), índices de monitoreo de la sequía (528), y la sequía meteorológica (367). En el resto de los temas el total de artículos consultados no excede los 300. Esta misma jerarquía es coincidente en los tres períodos de evaluación, según se muestra en la siguiente tabla:

En los años comprendidos entre 2000-2009 muchos países y regiones estuvieron afectados por los efectos negativos de la escasez de precipitaciones. Se realizaron investigaciones para caracterizar las sequías, fundamentalmente meteorológica y agrícola, así como

¹³ Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres, 2021.

Tabla 1. Distribución de trabajos por temas y períodos

Temas	Períodos			Total
	2000-2009	2010-2017	2018-2020	
Sequía: aspectos teóricos, definición y clasificación	68	904	106	1.078
Sequía meteorológica	24	305	38	367
Sequía agrícola	18	254	21	293
Sequía hidrológica	14	179	18	211
Sequía socioeconómica	8	133	21	162
Sequía hidráulica	4	33	8	45
Gestión integrada de la sequía	59	719	102	880
Modelos de gestión de sequía meteorológica, agrícola e hidrológicas	17	189	32	238
Modelos de gestión de sequía hidráulica	5	9	7	21
Estrategias generales de gestión de sequías y acciones de mitigación	37	521	63	621
Herramientas de monitoreo y control de las sequías	115	854	189	1.158
Índices de monitoreo de las sequías	42	418	68	528
Índices de sequía meteorológica	27	181	47	255
Índices de sequía agrícola	22	117	30	169
Índices de sequía hidrológica	14	95	24	133
Índices de sequía socioeconómica	8	22	18	48
Índices de sequía hidráulica	2	21	2	25
Total	242	2.477	397	3.116
(%)	7,8	79,5	12,7	100

Fuente: elaborado por los autores, 2021.

para evaluar los impactos de estas en la economía y la sociedad¹⁴. Esta etapa se caracteriza también por limitadas contribuciones en temas referidos a las propuestas de modelos de gestión para las sequías¹⁵. En general, las publicaciones realizadas en el período solo representan el 7,8% del total de artículos seleccionados.

Durante el segundo período, 2010-2017, se produce un crecimiento significativo en los tres grupos de

temas. Resaltan las publicaciones sobre estrategias generales de gestión de sequías y acciones de mitigación, con 521 artículos, e índices de monitoreo de las sequías, con 418 artículos. Esta tendencia se debe probablemente al período de sequía ocurrido en una gran parte de la región central de las Américas y en muchos países y regiones de África (Etiopía, Somalia, Kenia, Uganda y Yibuti)¹⁶. En esta etapa el índice de crecimiento respecto a la anterior es 9,236 (923,6%).

Entre los índices de monitoreo de las sequías aplicados en este período, de gran aceptación a nivel mundial, destacan los índices Hidrológico de Sequía de Palmer (PHDI) y Severidad de la Sequía de Palmer (PDSI), ambos construidos por el meteorólogo estadounidense Wayne Palmer en 1965. Se basan en el concepto de demanda-suministro de agua, teniendo en cuenta el déficit entre la precipitación real y la necesaria para mantener las condiciones de humedad climática o normal¹⁷.

Otros índices muy empleados son: el Índice Estandarizado de Sequía Pluviométrica (IESP) propuesto por Natalia Limones y María Fernanda Pita, ambas del departamento de Geografía Física y Análisis Geográfico Regional de la Universidad de Sevilla; el Índice Global de Sequía Anual (ISA) elaborado en 2007 por José Evelio Gutiérrez Hernández de la Facultad de Geografía de la Universidad de La Habana; y el Índice de Sequía por Humedad en el Suelo (MDSI) de Hollinger y colectivo de autores, de 1993. Según los resultados, el Índice de Precipitación Estandarizado (SPI) desarrollado en 1993 por McKee y autores es el más utilizado mundialmente para monitoreo de la sequía meteorológica y ha sido el adoptado por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) para su medición. Para el resto de las sequías todavía no existe un amplio consenso sobre cuál es el índice más apropiado.

En el tercer período, 2018-2020, se observa un decrecimiento de un 84,0% del número de investigaciones, aunque respecto a la primera etapa el crecimiento es del 64%. Los principales temas referidos en las publicaciones se asocian a propuestas de nuevas herramientas para el monitoreo y control de las sequías con un índice de crecimiento promedio de 0,643 (64,3%) respecto a la primera etapa, decreciendo en 77,9% respecto a la segunda. Esta tendencia estuvo marcada en parte por la incidencia de la COVID-19, con 998 resultados con el descriptor “COVID-19”.

¹⁴ WWAP, 2019.

¹⁵ Estrela; Rodríguez, 2008.

¹⁶ PNUD, 2012.

¹⁷ Campos; Francisco, 2018, 246-279.

Una vez que se profundiza en los artículos, resulta notorio que la sequía hidráulica es la menos beneficiada en cuanto a cantidad de contribuciones, sin embargo, destaca un interés creciente en el tema a partir de 2010, aún incipiente. Las publicaciones vinculadas a este tipo están muy direccionadas a la descripción de los impactos de las sequías meteorológicas, hidrológicas y agrícolas, considerándola en el 93% de los trabajos publicados como la propia sequía socioeconómica. Hasta el 2013 muchos países no la reconocen como un fenómeno diferenciado de los cuatro tipos de sequía establecidos por la OMM. Sin embargo, países como Cuba van reconociendo que, aparte de los cuatro tipos de sequías tradicionalmente definidas, existe un fenómeno que tiene incidencias directas en la sociedad, la economía y el medio ambiente, con una componente operacional.

Se constata la existencia de 28 propuestas de indicadores ambientales en la bibliografía seleccionada, así como los 46 índices empleados para el monitoreo y control de las sequías, principalmente la meteorológica, hidrológica y agrícola. Desde aquí se infiere la necesidad de profundizar en aspectos relacionados con las sequías hidráulica y socioeconómica.

Distribución de los artículos por revistas

Los artículos seleccionados (3.116) fueron publicados por 703 revistas, cuya distribución se presenta en la tabla 2. Se consideraron solo aquellas que han publicado más de cinco artículos, totalizándose el 71,2 % en 103 revistas.

Destacan en este listado, con más de setenta publicaciones en el tema de la sequía: *AGU Fall Meeting*,

Tabla 2. Distribución de artículos por revistas

Nombre de la revista	Cantidad de artículos	Nombre de la revista	Cantidad de artículos
<i>PloS one</i>	119	<i>Agricultural and Forest</i>	10
<i>AGU Fall Meeting</i>	96	<i>International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation</i>	10
<i>Advances in Water Resources</i>	83	<i>Investigaciones Geográficas</i>	10
<i>Australian Journal of Agricultural and Resource</i>	74	<i>Revista Científica ECOCIENCIA</i>	10
<i>Research Journal of Agriculture</i>	69	<i>Revista de Geografía Norte Grande</i>	10
<i>Agricultural and Forest Meteorology</i>	67	<i>Australian and New Zealand Grapegrower</i>	9
<i>Tecnología y ciencias del agua</i>	62	<i>Journal of Irrigation and Drainage</i>	9
<i>Bulletin of the Water resources</i>	61	<i>Water Saving Irrigation</i>	9
<i>Hydrology and Earth System Sciences</i>	55	<i>Agronomy journal</i>	8
<i>Research of Soil and Water</i>	54	<i>China Water Resources</i>	8
<i>Ágora</i>	53	<i>Cultivos Tropicales</i>	8
<i>Annual review of environment and resources</i>	53	<i>Agricultural Research in the Arid Areas</i>	7
<i>Agricultural drought</i>	49	<i>Agrociencia</i>	7
<i>Evaluating Climate Change Action for Sustainable</i>	49	<i>China Rural Water and Hydropower</i>	7
<i>European water</i>	45	<i>Earth</i>	7
<i>Dictionary of Climate Change and the Environment</i>	43	<i>Journal of Arid Environments</i>	7
<i>Bulletin of the American Meteorological Society</i>	42	<i>Journal of Natural Disasters</i>	7
<i>Revista Científica UDO Agrícola</i>	42	<i>Journal of Water and Climate Change</i>	7
<i>Annals of Forest Science</i>	41	<i>Theoretical and applied climatology</i>	7
<i>Australasian Journal of Water</i>	41	<i>Agrociencia Uruguay</i>	6
<i>Advances in Water</i>	39	<i>Atmospheric Research</i>	6
<i>Agua Ambiente</i>	38	<i>Bioagro</i>	6
<i>Agriscientia</i>	37	<i>Climate Research</i>	6
<i>Agricultural Water</i>	36	<i>Cuadernos de Investigación UNED</i>	6
<i>Trees</i>	36	<i>Environmental Research and Risk</i>	6
<i>Engineering Journal of Wuhan University</i>	35	<i>Global Change</i>	6
<i>Advances</i>	29	<i>Hydrology Research</i>	6
<i>EGU General Assembly</i>	29	<i>International Journal of Agricultural</i>	6
<i>El agua en Iberoamérica</i>	27	<i>Jiangxi Hydraulic Science & Technology</i>	6
<i>Journal of Anhui Agricultural Sciences</i>	26	<i>Journal of Korea Water Resources</i>	6
<i>Estocolmo: Global Water Partnership</i>	25	<i>Journal of Water Resources and Water</i>	6
<i>Tree physiology</i>	23	<i>Revista mexicana de ciencias</i>	6

(Continued)

Tabla 2. Distribución de artículos por revistas (Continued)

Nombre de la revista	Cantidad de artículos	Nombre de la revista	Cantidad de artículos
<i>Anuario de la Ciencia Mexicana</i>	22	<i>Tecnura: Tecnología y Cultura</i>	6
<i>Water</i>	22	<i>Agrofaz</i>	5
<i>Arid Zone Research</i>	21	<i>Atmósfera</i>	5
<i>Revista brasileira de Meteorología</i>	21	<i>Cuaderno geográfico</i>	5
<i>Journal of Climate</i>	20	<i>Environmental</i>	5
<i>Natural hazards</i>	20	<i>Forest ecology and management</i>	5
<i>Journal of Hydrology</i>	19	<i>Forestry Ideas</i>	5
<i>Water Resources and Power</i>	16	<i>Geophysical Research Letters</i>	5
<i>Water resources management</i>	15	<i>Hydrology</i>	5
<i>Journal of Experimental Botany</i>	14	<i>Journal of Applied Earth Observation</i>	5
<i>Journal of Hydrologic</i>	14	<i>Journal of Climatology</i>	5
<i>Nature</i>	13	<i>Journal of Crop</i>	5
<i>Revista Cubana de Meteorología</i>	13	<i>Journal of Geophysical Research: Atmospheres</i>	5
<i>Journal of Hydrometeorology</i>	12	<i>Journal of Hohai University: Natural Sciences</i>	5
<i>Shuili Xuebao (Journal of Hydraulic)</i>	12	<i>Plant and soil</i>	5
<i>Journal of Hydroelectric Engineering</i>	11	<i>Plateau Meteorology</i>	5
<i>New</i>	11	<i>Revista mexicana de Ciencias Agrícolas</i>	5
<i>Remote Sensing</i>	11	<i>Terra Latinoamericana</i>	5
<i>Scientific reports</i>	11	<i>Weather, Climate, and Society</i>	5
<i>Water Resources</i>	11		

Fuente: elaborado por los autores, 2021.

Advances in Water Resource, *Bulletin of the American Meteorological Society*, *Australian Journal of Agricultural and Resource*, *PloS one* y el *Bulletin of the Water resources*.

Son 13 las revistas con más de 50 publicaciones referidas al tema de estudio, y de ellas el 7,6 % en idioma español. Las revistas con menos de cinco artículos no se reflejan, ya que se considera que su contribución es menor. En esta situación se encuentran 898 artículos distribuidos en 600 revistas, de ellas 416 con un solo artículo publicado de los seleccionados para este estudio, 101 revistas con dos artículos, 52 con tres artículos y 30 revistas con cuatro artículos publicados cada una de ellas. Análisis que permite afirmar que solo el 15% de las revistas tiene una contribución superior a los cuatro artículos en el período de estudio de esta investigación.

De la totalidad de los artículos publicados, el 33% corresponde a revistas vinculadas a la gestión de la sequía en la agricultura y las innovaciones en cultivos para su enfrentamiento, así como la aplicación de índices para monitoreo y control de la sequía agrícola. La gestión del recurso agua como tema general representa el 24% de los artículos publicados y el 11% a revistas de corte social. Las temáticas relacionadas con el cambio climático y los efectos de la sequía en el medio ambiente representan el 17 %, mientras el 15% restante corresponde a publicaciones en revistas que abordan temas generales.

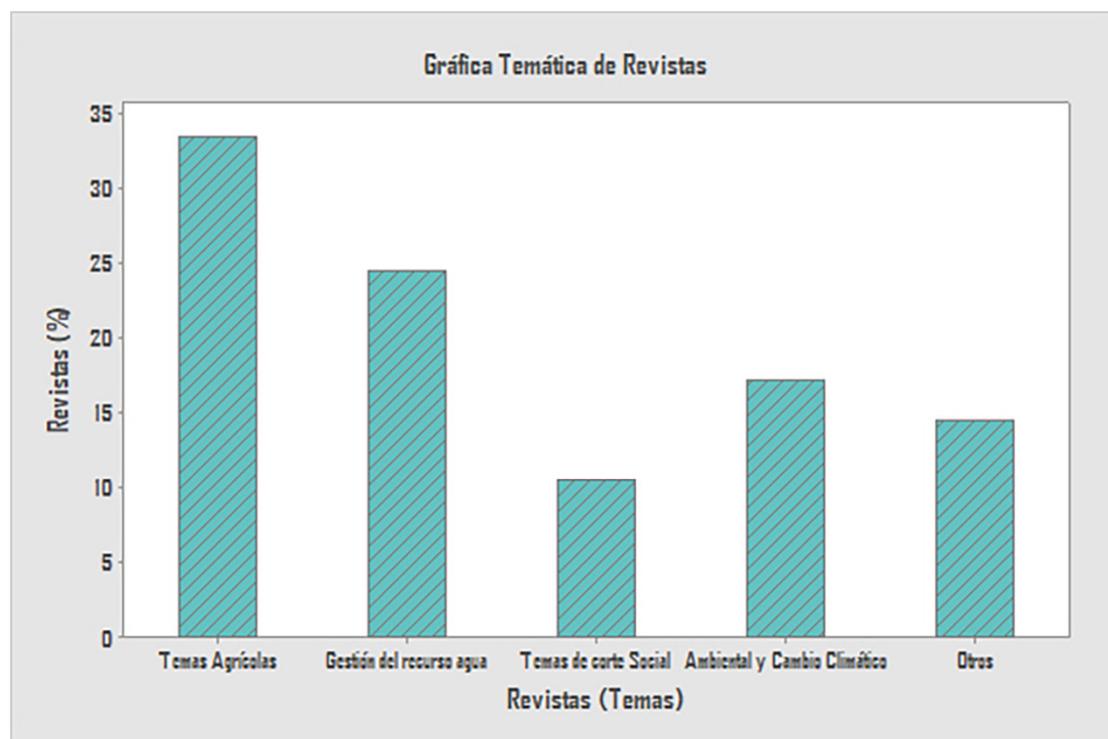
Las investigaciones relacionadas con el agua constituyen uno de los grandes retos de este siglo, en armonía con la protección del medio ambiente y la seguridad alimentaria. Un alto porcentaje de estos autores asevera que la gestión adecuada del recurso agua resulta fundamental para el desarrollo socioeconómico, unos ecosistemas saludables y la estabilidad humana¹⁸.

Una breve caracterización de las revistas con mayor número de publicaciones vinculadas al tema de la sequía se presenta a continuación:

PloS one: revista científica estadounidense publicada por Public Library of Science (PLOS). Se trata de una publicación de acceso abierto que cubre principalmente la investigación básica en cualquier materia relacionada con la Ciencia y la Medicina. Se funda en 2006, y a comienzos del 2013 publicó 31.500 artículos; ya en 2014 publicó el artículo número 100.000. La revista tiene un factor de impacto de 3,57 según Scopus en el sitio web SCI Journal y un H-Index de 332. Posee un índice h_5 de 185 y la mediana h_5 es de 246. Según la métrica de SCImago está ubicada en el Q_1 . El ISSN: 1932-6203, y el link es: <https://journals.plos.org/plosone/>

¹⁸ Maestu, 2015.

Gráfico 3. Distribución de los artículos publicados por temática de las revistas



Fuente: elaborado por los autores, 2021.

AGU Fall Meeting: corresponde a una publicación de la Unión Geofísica Americana (AGU), cuyas actividades están enfocadas a la gestión de información científica dentro de las Ciencias de la Tierra y del Espacio, abarcando temas relacionados a la astronomía, geodesia, geología, meteorología, oceanografía, sismología, magnetismo, electricidad terrestre, mareas y vulcanología. Tiene un índice h_5 evaluado de 33 y la mediana h_5 es de 49¹⁹. El *link* de acceso a la revista es: <https://www.agu.org/Fall-Meeting>

Advances in Water Resources: revista del Reino Unido que proporciona un foro para la presentación de avances científicos fundamentales en la comprensión de los sistemas de recursos hídricos superficiales o subterráneos o la interacción entre ambos²⁰. Tiene un factor de impacto de 5,12 al finalizar el 2020 según Scopus Impact en el sitio web de SCI Journal (Science Journal Impact Factor), y su H-Index es de 138. El cuartil de impacto es Q_1 y ostenta un índice h_5 de 55 y la mediana h_5 de 79. El número del ISSN es 0309-1708, y el *link* de consulta es: <https://www.journals.elsevier.com/advances-in-water-resources>

Australian Journal of Agricultural and Resource Economics (AJARE): revista australiana muy prestigiosa,

que proporciona un foro para el trabajo innovador y académico en la economía agrícola y de los recursos. Se publican artículos sobre la economía de la alimentación y la agricultura, los recursos naturales y el ambiente²¹. El factor de impacto es de 1,38 según la WOS en SCI Journal 2021 y el H-Índice es de 49. Pertenece al Q_1 con la temática de “Agricultural and Biological Sciences”, con un índice h_5 de 23 y mediana h_5 de 30. El ISSN es 1467-8489, y el *link* de acceso: <https://onlinelibrary.wiley.com/journal/14678489>

Research Journal of Agriculture Sciences: publicada trimestralmente por la Universidad Agrícola de Punjab (PAU) y la Sociedad de Mejoramiento de Cultivos de la India. El principal objetivo de esta iniciativa es promover la investigación y el desarrollo agrícola. Abierta a científicos que trabajen en diferentes universidades e institutos de la India y del extranjero. Tiene un H-Index de 4, con un factor de impacto 2,41 publicado en el sitio web de la revista. El ISSN 0976-1675, 2249-4538, y el *link* de visualización es: <http://rjas.org/>. Tiene un índice h_5 de 9 y la mediana h_5 de 14. Se ubica en el Q_3 .

Agricultural and Forest Meteorology: revista internacional que publica temas de interrelación entre

¹⁹ Google Scholar Metric, 2020.

²⁰ SJR, 2021.

²¹ SJR, 2021.

meteorología, agricultura, silvicultura y ecosistemas naturales. Hace hincapié en investigaciones científicas básicas y aplicadas en el campo de las plantas y el suelo, la ecología y la biogeoquímica afectados por el tiempo, la variabilidad y el cambio climático²². Tiene un factor de impacto de 5,97 en el 2020 según Scopus en SCI Journal y un H-Index de 165. Se encuentra en el Q₁, con un índice h₅ de 61 y mediana h₅ de 83. El número de ISSN: 0168-1923, y el link: <https://www.journals.elsevier.com/agricultural-and-forest-meteorology>

Tecnología y ciencias del agua: publicada por el Instituto Mexicano de Tecnología y Ciencias del Agua. Es una revista especializada con alcance internacional y está dirigida a investigadores, académicos y profesionales interesados en encontrar soluciones a los problemas relacionados con el agua. Tiene un factor de impacto de 0,50 en el 2020 según Scopus en SCI Journal, y un H-Index de 12. Esta revista pertenece al cuarto cuartil (Q₄)²³. Ostenta un índice h₅ de 15 y mediana h₅ de 18. El número del ISSN es 01878336, 20072422, y el link de consulta de la revista es: <https://www.scijournal.org/NA>

Bulletin of the American Meteorological Society (BAMS): revista científica publicada por la Sociedad Meteorológica de Estados Unidos (AMS). Es la revista insignia de la AMS y publica artículos de interés y significado para la comunidad del clima, así como noticias, editoriales y reseñas²⁴. Fundada en 1920, con una frecuencia mensual, tiene un factor de impacto de 9,38 en el 2020 según la WOS (Web of Science) en el sitio web SCI Journal y un H-Index de 197. Ostenta un índice h₅ de 78 y mediana h₅ de 128. El número de ISSN es 0003-0007, 1520-0477, y se ubica en el primer cuartil Q₁. El link de consulta es: <https://www.ametsoc.org/index.cfm/ams/publications/bulletin-of-the-american-meteorological-society-bams/>

Hydrology and Earth System Sciences (HESS): revista internacional alemana iniciada en 1997 para la publicación de investigaciones originales en hidrología. Cuenta con un factor de impacto de 5,90 en el 2020 según las bases de datos de Scopus Impact Factor en SCI Journal y su H-Index es de 133. Cuenta con un índice h₅ de 70 y la mediana h₅ de 102, pertenece al Q₁²⁵. El número ISSN es 1027-5606, 1607-7938, y el link de consulta es: <https://www.hydrology-and-earth-system-sciences.net/>

Research of Soil and Water: publicada por la Academia Checa de Ciencias Agrícolas y financiada por el Ministerio de Agricultura de la República Checa. Desde 2006 la revista es administrada por un comité editorial internacional. Recibe artículos originales de todos los campos de la ciencia y la ingeniería relacionados con el suelo y el agua²⁶. El factor de impacto es de 2,17 según Scopus en SCI Journal, con un H-Index de 21. Se ubica en el Q₂ con un índice h₅ de 16 y una mediana h₅ de 24. El número de ISSN: 1801-5395, 1805-9384, y el link es: <https://www.agriculturejournals.cz/web/swr/>

Ágora: gestionada por la Organización de Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), junto con importantes editoriales, ofrece acceso a bibliografías digitales en el ámbito de alimentación, agricultura, ciencias medioambientales y ciencias sociales. Permite a instituciones de más de 115 países acceder a 15.500 revistas y 48.000 libros. Es uno de los cinco programas que componen Research4Life: AGORA, HINARI, OARE, ARDI y GOALI²⁷. La revista tiene un H-Index de 4, se ubica en el Q₄, posee un índice h₅ de 5 y la mediana h₅ de 9. El ISSN: 1516-1498, 1809-4414, y el link es: <http://www.fao.org/agora/es/>

Annual review of environment and resources: revista académica estadounidense que publica artículos de revisión sobre ciencia e ingeniería ambiental, ecología y ciencias de la conservación, recursos hídricos y energéticos, atmósfera, océanos, cambio climático, agricultura. En 2020 se publicó en acceso abierto por primera vez²⁸. El impacto de la revista es 14,63 en el 2020 según Scopus en SCI Journal y el H-Index es de 115. El cuartil de impacto es Q₁, el índice h₅ es de 43 y la mediana h₅ es de 86. El ISSN es 1545-2050, y el link es: <https://www.annualreviews.org/journal/energy>

Distribución de artículos publicados por países

Se distinguen 70 países con publicaciones en el tema del empleo de herramientas para monitoreo y control de las sequías. Resaltan en el metaanálisis, con mayor producción científica medida a nivel mundial, Estados Unidos y China²⁹.

Para la evaluación de la distribución de artículos publicados por países se establecieron cuatro grupos

²² SJR, 2021.

²³ SJR, 2021.

²⁴ SJR, 2021.

²⁵ SJR, 2021.

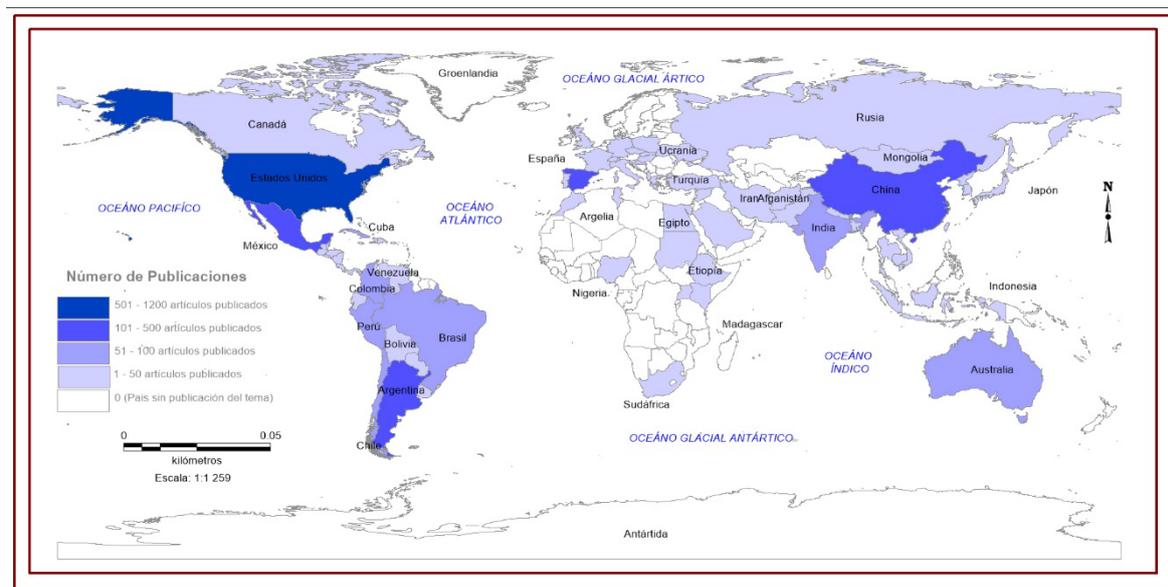
²⁶ SJR, 2021.

²⁷ FAO, 2018.

²⁸ SCImago Journal, 2020.

²⁹ NUVE, 2020.

Mapa 1. Representación cartográfica de los países con publicaciones vinculadas a temas de las sequías, 2000-2020



Fuente: elaborado por los autores, 2021. Proyección de Mercator NAD27.

según la metodología aplicada por Suárez³⁰, según intervalos: un primer grupo con los países que publicaron en el período evaluado entre 1 a 50 trabajos, un segundo grupo entre 51 y 100 artículos, el tercero entre 101 y 500, y el cuarto grupo entre 501 y 1.200 artículos. Estos resultados se muestran en la siguiente figura:

Estados Unidos resultó ser el único país que supera las mil publicaciones en la serie de años analizados, con 1.196 artículos, por tanto, integra el cuarto grupo. China (404), España (266), México (213) y Argentina (119) se ubican en el tercer grupo ya que sus publicaciones están en el rango de 101 a 500. El segundo grupo lo conforman siete países, de ellos cinco de Latinoamérica y el Caribe, encabezado por Cuba con 85 artículos, seguido de países potencias en producción científica como Australia (74), Colombia (61), India (58), Perú (57), Chile (57) y Brasil (55). Se identifican en el primer grupo 58 países que han contribuido en total con 471 artículos. Estos últimos están distribuidos en casi todos los continentes, con mayor representatividad en Europa y Asia. El 68% de los países con publicaciones en el tema se localiza en zonas frías y templadas, lo que evidencia que el fenómeno de la sequía se ha expandido a todas las latitudes.

En el continente americano, específicamente en América del Norte, se publican muchos temas referidos a la aplicación de índices reconocidos para el estado actual y perspectiva de los tipos de sequía, calentamiento

global, impacto de las sequías hidrológica, agrícola y meteorológica, los sistemas de gestión, impactos del cambio climático sobre los bosques y las sequías, empleo de la percepción remota y sus respuestas a la sequía meteorológica. Ampliamente utilizado es el Índice de Severidad de la Sequía de Palmer, el Índice de Precipitación Estandarizada e índices para medir aridez y escasez de agua.

América del Sur genera publicaciones más dirigidas a la gestión de la sequía debido a las características del hemisferio sur. Se publican trabajos sobre la lucha contra la desertificación, los efectos del cambio climático, la gestión del recurso hídrico, comparaciones entre regiones y períodos de sequía, gobernanzas del agua, análisis de los períodos secos y húmedos en el sudoeste del continente, evaluaciones de índices para sequía agrícola, vulnerabilidad socioambiental, seguridad hídrica y escenarios de crisis por el agua.

Los temas de referencia de los países del continente africano están vinculados a la aplicación de índices como herramientas de monitoreo y control de las sequías, métodos para elevar la capacidad predictiva, evaluación de los modelos de gestión, escasez de agua, debilidades del proceso de gestión de las sequías, caracterización de los episodios de sequía meteorológica, tendencias de las precipitaciones, efectos del cambio climático, tendencias de la desertificación, impactos en la sociedad de la sequía agrícola e hidrológica.

En Europa, las investigaciones están dirigidas a la gestión de los efectos del cambio climático, modelizaciones hidrológicas, oferta hídrica, análisis espacio-temporal

³⁰ Suárez Ibujés, 2013, 2018.

de las lluvias y las sequías, índices para evaluar estado y tendencia de las sequías, problemas ambientales, propuestas de indicadores ambientales para sequía meteorológica e hidrológica, diseño de mecanismos para predicciones de las sequías, empleo de la percepción remota, estudios de peligros, vulnerabilidades y riesgos ante la ocurrencia de sequías extremas, demanda del agua. Autores como Juan M. Matés Barco han realizado importantes estudios del proceso de regulación y privatización que ha experimentado el servicio de abastecimiento de agua en países europeos³¹.

Asia encamina la mayoría de sus investigaciones vinculadas al tema del presente metaanálisis hacia la propuesta de mecanismos para la supervisión constante de las sequías con empleo de percepción remota y su respuesta a la sequía, publica el desarrollo de nuevos mecanismos de adaptación de plantas ante las sequías, evolución de la sequía estacional en el sur del continente, aplicación del Índice de Precipitación Estandarizado, descripciones de las sequías meteorológica e hidrológica, estudios hídricos a nivel de cuencas hidrográficas, peligro de sequía en el contexto del cambio climático, y empleo de la geoinformática en la gestión de las sequías.

En Oceanía, según los artículos consultados, muchos autores trabajan las reducciones experimentadas por las precipitaciones principalmente en otoño e invierno. Otro de los temas más abordados es el incremento

de incendios forestales vinculados a las sequías, efectos del cambio climático con énfasis en Australia, cambios en los patrones de lluvia al sur de Australia, programas de protección contra el clima, influencia de la sequía en las plantas, rentabilidad agrícola y ecosistemas acuáticos, empleo de índices de sequía, reutilización del agua de lluvia y evaluaciones de sequía mediante cópulas tri-variadas condicionadas a estados climáticos.

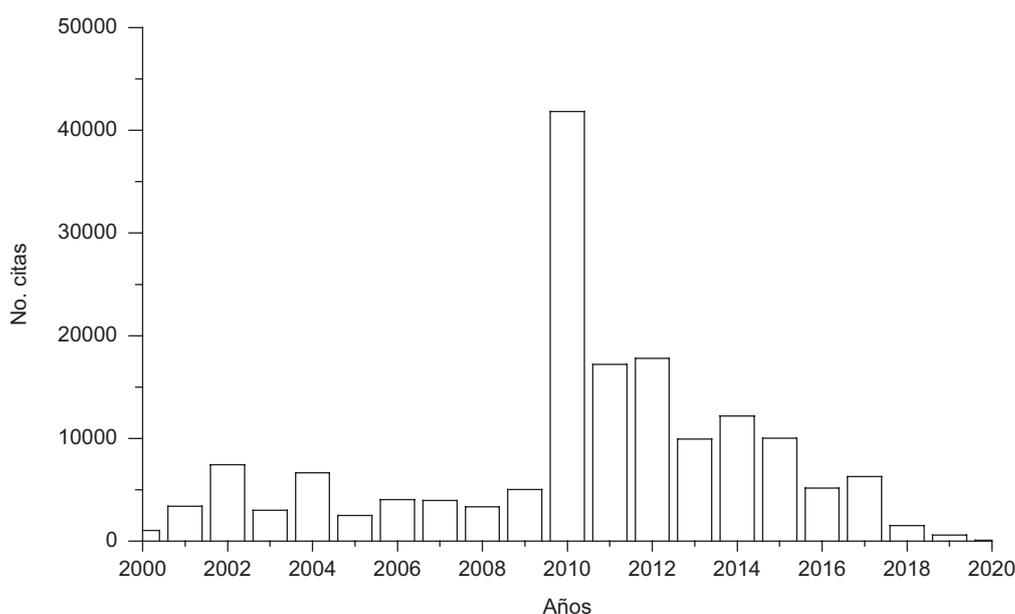
La humanidad ha dado grandes pasos en el mundo del conocimiento a partir de la creación de innumerables redes electrónicas de revistas científicas, sin embargo, a pesar de estos avances hay regiones como América Latina y el Caribe donde existe poca inversión en investigación comparado con los países del hemisferio norte; y esto tiene gran repercusión.

Relevancia de los artículos según número de citas

De la base de datos de 3.116 artículos, 21 tienen más de mil citas, 418 han sido citados entre cien y mil veces, 1.862 artículos entre 2 y 99 veces; sin embargo, existen 362 artículos que han sido citados una sola vez, y el resto no ha sido citado, de lo que se infiere la relevancia de al menos el 74% de los artículos.

Se presenta el listado y referencia completa de los 21 artículos más citados, siendo en estos la sequía meteorológica el tema más abordado (43%), seguido de

Gráfico 4. Distribución del número de citas de los artículos publicados según el año de publicación



Fuente: elaborado por los autores, 2021.

³¹ Matés, 2013, 21-29.

Tabla 3. Relación de artículos más citados

Citas	Autor	Título	Año	Revista	Palabra clave
3.062	S.M. Vicente Serrano, S. Beguería	Índice de sequía multiescalar sensible al calentamiento global: el índice de evapotranspiración de precipitación estandarizado	2010	<i>Revista de Cambio Climático</i>	Índice de sequía
3.057	A.K. Mishra, V.P. Singh	Una revisión de los conceptos de sequía	2010	<i>Revista de Hidrología</i>	Sequía
3.057	V.H. Dale, L.A. Joyce, S. McNulty, R.P. Neilson	El cambio climático puede afectar a los bosques al alterar la frecuencia, intensidad, duración y momento de los incendios y las sequías	2001	<i>Revista de Hidrometeorología</i>	Sequía
3.050	A. Dai, K.E. Trenberth, T. Qian	Un conjunto de datos global del Índice de Severidad de la Sequía de Palmer para 1870-2002: relación con la humedad del suelo y los efectos del calentamiento de la superficie	2004	<i>Revista de Hidrometeorología</i>	Índice de sequía
3.050	R.R. Heim Jr.	Una revisión de los índices de sequía del siglo XX utilizados en los Estados Unidos	2002	<i>Boletín de la Sociedad Meteorológica Estadounidense</i>	Índice de sequía
2.455	E.R. Cook, C.A. Woodhouse, C.M. Eakin, D.M. Meko	Cambios de aridez a largo plazo en el oeste de los Estados Unidos	2004	<i>Diario del clima</i>	Índices
2.447	B. Choat, S. Jansen, T.J. Brodribb, H. Cochard, S. Delzon	Convergencia mundial en la vulnerabilidad de los bosques a la sequía	2012	<i>Naturaleza</i>	Sequía
2.104	J. Flexas, H. Medrano	Inhibición por sequía de la fotosíntesis en plantas C3: revisión de las limitaciones estomáticas y no estomáticas	2002	<i>Anales de botánica</i>	Sequía
2.063	D.P. Loucks, E. Van Beek	Planificación y gestión de sistemas de recursos hídricos: introducción a métodos, modelos y aplicaciones	2017	<i>Anales de la ciencia forestal</i>	Sequía
1.924	J. Keyantash, J.A. Dracup	La cuantificación de la sequía: una evaluación de los índices de sequía	2002	<i>Boletín de la Sociedad Meteorológica Estadounidense</i>	Sequía
1.625	K.E. Trenberth, A. Dai, G. Van Der Schrier	Calentamiento global y cambios en la sequía	2014	<i>Naturaleza y cambio climático</i>	Sequía
1.387	J. Sheffield, E.F. Wood, M.L. Roderick	Poco cambio en la sequía mundial en los últimos 60 años	2012	<i>Naturaleza y cambio climático</i>	Sequía
1.375	P. Steduto, T.C. Hsiao, D. Raes, E. Fereres	AquaCrop - El modelo de cultivo de la FAO para simular la respuesta del rendimiento al agua: I. Conceptos y principios subyacentes	2009	<i>Revista de agronomía</i>	Índice de sequía
1.343	B.J. Bentz, J. Régnière, C.J. Fettig, E.M. Hansen	Cambio climático y escarabajos de la corteza del oeste de Estados Unidos y Canadá: efectos directos e indirectos	2010	<i>Boletín de los recursos hídricos</i>	Sequía
1.306	S.L. Lewis, P.M. Brando, O.L. Phillips	La sequía amazónica de 2010	2011	<i>Revista del Clima</i>	Sequía
1.225	M. Svoboda, D. LeComte, M. Hayes	El monitor de sequía	2002	<i>Boletín de los recursos hídricos</i>	Índice de sequía
1.208	C.P. Kelley, S. Mohtadi, M.A. Cane	El cambio climático en la Media Luna Fértil y las implicaciones de la reciente sequía en Siria	2015	<i>Procedimientos del Agua en Korea</i>	Índice de sequía
1.196	B.I. Cook, T.R. Ault, J.E. Smerdon	Riesgo de sequía sin precedentes en el siglo XXI en el suroeste de Estados Unidos y las llanuras centrales	2015	<i>Avances de la ciencia</i>	Índice de sequía
1.147	L.M. Tallaksen, H.A.J. Van Lanen	Sequía hidrológica: procesos y métodos de estimación de caudales y aguas subterráneas	2004	<i>AGU Encuentros de Otoño</i>	Sequía hidrológica
1.147	A. Dai	Características y tendencias en diversas formas del Índice de Severidad de la Sequía de Palmer durante 1900-2008	2011	<i>Revista de investigaciones geofísicas: atmosferas</i>	Índice de sequía
1.078	E.J. Burke, S.J. Brown, N. Christidis	Modelización de la evolución reciente de la sequía mundial y proyecciones para el siglo XXI con el modelo climático del Centro Hadley	2006	<i>AGU Encuentros de Otoño</i>	Índice de sequía

Fuente: elaborado por los autores, 2021.

Tabla 4. Distribución de los autores citados más de 500 veces desde el 2000 hasta el 2020.

No.	Citas	Autor	Año
1	3.062	S.M. Vicente-Serrano, S. Beguería	2010
2	3.057	A.K. Mishra, V.P. Singh	2010
3	2.104	V.H. Dale, L.A. Joyce, S. McNulty, R.P. Neilson	2001
4	2.063	A. Dai, K.E. Trenberth, T. Qian	2004
5	1.924	R.R. Heim Jr.	2002
6	1.625	E.R. Cook, C.A. Woodhouse, C.M. Eakin, D.M. Meko	2004
7	1.387	B. Choat, S. Jansen, T.J. Brodribb, H. Cochard, S. Delzon	2012
8	1.343	J. Flexas, H. Medrano	2002
9	1.306	D.P. Loucks, E. Van Beek	2017
10	1.225	J. Keyantash, J.A. Dracup	2002
11	1.208	K.E. Trenberth, A. Dai, G. Van Der Schrier	2014
12	1.147	J. Sheffield, E.F. Wood, M.L. Roderick	2012
13	1.078	P. Steduto, T.C. Hsiao, D. Raes, E. Fereres	2009

Fuente: elaborado por los autores, 2021.

aplicaciones de índices de sequía (29%), la sequía agrícola (13%), los modelos de gestión de las sequías (10%) y la sequía hidrológica (5%).

Los artículos más citados desde el 2000 hasta el mes de agosto del 2020 se publicaron en quince revistas. De ellas, la *AGU Fall Meeting*, el *Bulletin of the American Meteorological Society*, *Bulletin of the Water Resources*, *Journal of Climate*, *Journal of Hydrometeorology*, y *Nature and Climate Change* tienen dos publicaciones cada una, las restantes revistas solo un artículo. El artículo más citado fue: "A multiscale drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index".

Otro artículo que destaca es el estudio realizado por Loucks y Van Beek, publicado en 2017 bajo el título *Water resource systems planning and management: An introduction to methods, models, and applications*. Este cuenta con 1.306 citas durante el período evaluado. Entre estos artículos no aparece referente alguno a la sequía hidráulica. Se describen los impactos de las sequías agrícolas, meteorológicas e hidrológicas, sobre todo los principales elementos del sistema de gestión de estos fenómenos climatológicos. Los autores con más de mil citas se presentan en la tabla 4, siendo los autores más citados Vicente-Serrano y Beguería, 2010, con 3.062 citas.

Análisis de la aplicación de índices como herramienta para el monitoreo de las sequías dentro de los modelos de gestión actuales

En los últimos años se ha incrementado el empleo de índices para la vigilancia de las sequías, herramienta con demostrada eficacia para conocer el comportamiento y las manifestaciones de dicho fenómeno, aunque ha tenido una evolución constatada por diferentes autores más lenta que otras herramientas de monitoreo y control.

Los índices desarrollados a finales del siglo XIX y principios del XX incluían medidas como el porcentaje de precipitación normal, días con lluvia por debajo de un umbral determinado, fórmulas que implican una combinación de temperatura y precipitación, y modelos que tienen en cuenta los déficits de precipitación durante días consecutivos. La incorporación de la evapotranspiración por Charles Warren Thornthwaite condujo al desarrollo en 1965 de un índice de sequía basado en el presupuesto de agua, introducido por Palmer y que todavía se utiliza mundialmente³².

El siglo XX concluyó con el desarrollo de nuevas herramientas que incorpora varios índices posteriores a las acertadas propuestas de Palmer, caracterizado incluso por el empleo de imágenes satelitales, Sistemas de Información Geográfica (SIG) y de aplicaciones modernas que permiten mayor exactitud en los pronósticos. Las propuestas de Palmer constituyeron bases para el desarrollo de otros índices de sequía, pero es universal la preferencia por la aplicación de los desarrollados por Palmer. El Índice de Sequía (KBDI) desarrollado por Keetch-Byram, a mediados de 1968, también es ampliamente utilizado, fundamentalmente en el monitoreo y la predicción de incendios forestales.

A inicios del siglo XXI, concretamente en el año 2001, los índices más empleados fueron 13²⁸, desarrollados en el siglo anterior: Índice de Munger (1916), Índice de Kincer (1919), Índice de Marcovitch (1930), Índice de Blumenstock (1942), Índice de Precipitación Antecedente (1954), Índice de Adecuación de la Humedad (1957), Índice de Suministro de Agua Superficial (1981), Índice de Precipitación Estandarizado (1993), Índice de Condición de la Vegetación (1995), destacándose entre ellos como uno de los más usados en países tropicales el

³² Heim, 2002, 1149-1166.

Índice de Sequía de Byram-Keetch de 1968. Sin embargo, los índices elaborados por Palmer fueron con creces las herramientas más empleadas para la evaluación y control de las sequías en el año 2001: el Índice de Severidad de la Sequía (PDSI), el Índice de Sequía Hidrológica (PHDI) en 1965; en 1968 propuso un nuevo índice de sequía basado en la temperatura media y la precipitación, el Índice de Humedad del Cultivo.

En el 2001 Pita López propuso el Índice Estandarizado de Sequía Pluviométrica (IESP) con importantes logros en las regiones tropicales. En un plano similar se encuentra el Índice de Aridez, desarrollado por Hare y Ogallo en 1993, ideal para caracterizar sequías en los paisajes, es recomendado por el PNUMA y utilizado en 1992 para evaluar la aridez del planeta, actualmente es el adoptado por "La Convención Internacional de Lucha contra la Desertificación y la Sequía"³³.

En el año 2015 Gallardo³⁴ resumió que los índices más usados hasta el 2005 eran 15, o sea, que se fortalece el empleo de los 13 índices anteriores y se incorporan a la preferencia de especialistas e investigadores otros dos índices: Índice de Aridez de Palfai (1984), principalmente para su uso en Hungría y en la cuenca cárpata, para caracterizar la intensidad de la aridez mediante un solo dígito, a partir de un número reducido de parámetros meteorológicos e hidrológicos³⁵; y el Índice de Sequedad-Humedad (1997), que evalúa condiciones secas y de humedad excesiva basado en dos fórmulas, una para calcular las condiciones de sequedad (Índice D) y otra para el exceso de humedad (Índice M).

En 2016 suman 41 los índices más empleados³⁶, incremento que se fundamenta en el aumento de los episodios de sequía en diferentes regiones del planeta, con lo que se incrementan las experiencias en el enfrentamiento a este fenómeno, y al incremento de nuevas fuentes de datos disponibles. Esta tendencia se mantiene y en el 2020 alcanza la cifra de 46 índices más utilizados, entre ellos: el Índice de las Condiciones de Temperatura (TCI) propuesto por Kogan en 1995, el Índice de Zonas de Sequía (DAI) elaborado por Bhalme y Mooley en 1970, el Índice Normalizado de Anomalías (SAI) desarrollado por Kraus a inicios de 1970, el Índice

de Sequía de Referencia para la Agricultura (ARID) de P. Woli y colectivo de autores en 2011, y el Índice de Sequía de los Caudales Fluviales (SDI) de Nalbantis y Tsakiris en el 2008. Otro de los índices ampliamente empleado es el Índice de las Precipitaciones Estandarizadas (SPI). Más de 24 países los han integrado a sus modelos de gestión como herramienta oficial de monitoreo y control de las sequías, entre ellos Cuba.

En general, en el período de estudio, 2000-2020, se han empleado 46 índices como herramientas para el monitoreo y control de los eventos de cualquiera de las clasificaciones de sequía, cabe resaltar que: de ellos, 22 evalúan de forma exclusiva la sequía meteorológica, diez índices evalúan la sequía agrícola y tres la sequía hidrológica. Existen once índices con carácter mixto, pero ninguno de ellos aplicado para la gestión de la sequía hidráulica. Este resultado indica la necesidad de potenciar a nivel mundial y regional los estudios de la sequía hidráulica logrando su caracterización y medición.

El empleo de los índices a escala mundial es diverso, unos más empleados que otros, y muchos de ellos son solamente válidos para determinadas condiciones climáticas. Como resultado de la distribución espacial del empleo de los índices en el mundo, se tiene que en la región de Europa es donde se aplican más índices, con un total de 39. En la región de América del Norte para la gestión de las sequías utilizan 14 índices. En África y Oceanía emplean diez índices cada una de estas regiones del mundo, y en el caso de América del Sur y Central emplean ocho y nueve índices respectivamente.

Teniendo en cuenta estos resultados se confirma que existe un vacío de conocimiento en relación con este tipo de herramientas y la sequía hidráulica, incluidos los modelos de gestión, no reconociéndose entre los tipos de sequía existentes. Sin embargo, existen índices que podrían ser utilizados para la gestión de este tipo de sequía, de los ya propuestos o a partir de innovaciones de los actuales y existentes, en ese caso:

1. Índice de Sequía Agregado (ADI) desarrollado por Keyantash y Dracup en el 2004.

Este índice da la posibilidad de ser aplicado al monitoreo de la sequía hidráulica ya que ha sido desarrollado y evaluado dentro de tres divisiones climáticas en el Estado de California, EE.UU. Considera todas las formas físicas de sequía (meteorológica, hidrológica y agrícola) y a su vez da respuesta

³³ Gutiérrez; Hernández, 2016, 183-199.

³⁴ Gallardo, 2015.

³⁵ Peña *et al.*, 2016, 67-88.

³⁶ Gutiérrez; Hernández, 2016, 183-199.

Tabla 5. Índices utilizados para el monitoreo y control según tipo de sequía, y la cantidad de veces en el año que se emplean

Tipo de sequía	Índices/Indicadores	Frecuencia de uso (al año)
Meteorológica (22)	1. Índice de Precipitaciones Estandarizadas (SPI) (McKee, 1993)	321
	2. Índice Normalizado de Precipitación (NPI) (Garrido, 1999)	44
	3. Índice de Precipitación Estandarizada Multivariada (MSPI) (Bazrafshan <i>et al.</i> , 2014)	70
	4. Porcentaje de Precipitación Normal PNP (MNDI) (Bhalme; Mooley, 1980)	58
	5. Índice de Precipitación Evapotranspiración Estandarizado (SPEI) (Vicente - Serrano <i>et al.</i> , 2010)	61
	6. Índice de Anomalía de Precipitación (RAI) (Van Rooy, 1965)	48
	7. Índice de Anomalía de Precipitación respecto a la moda (APMo) (García; Hernández, 1988)	24
	8. Índice Estandarizado de Sequía Pluviométrica (IESP) (Pita López, 2001)	157
	9. Índice Deciles de Precipitación (D) (Gibbs; Maher, 1967)	231
	10. Índice de Severidad de la Sequía (IS) (Tinajero <i>et al.</i> , 1986)	56
	11. Índice Global de Sequía Anual (ISA) (Gutiérrez, 2007)	36
	12. Índice de Persistencia de la Sequía (IPS) (Gutiérrez, 2007)	42
	13. Índice de Repetibilidad de la S. Meteorológica (IR) (Quintana; Álvarez, 2005)	92
	14. Índice de Aridez (Hare; Ogallo, 1993)	122
	15. Índice de Precipitación Efectiva (EP) (Byun; Wilhite, 1999)	22
	16. Índice de Sequía (IS) (Guerra; Almarza, 1996)	28
	17. Índice de Sequía (KBDI) (Keetch-Byram, 1968)	242
	18. Índice de Sequedad (Si) (Ped, 1975)	26
	19. Índice de Sequedad-Humedad (DM) (Meshcherskaya; Blazhevich, 1997)	22
	20. Índice de Condiciones de Temperatura (TCI) (Kogan, 1995)	28
	21. Índice de Zonas de Sequía (DAI) (Bhalme; Mooley, 1970)	35
	22. Índice Normalizado de Anomalías (SAI) (Kraus, 1970)	28
Agrícola (10)	1. Tasa de Fiabilidad (TF) (Le Houerou <i>et al.</i> , 1993)	298
	2. Índice (Z) (ZINX) (Karl, 1986)	216
	3. Índice de Humedad del Cultivo (CMI) (Palmer, 1968)	232
	4. Índice de Sequía Específico de Cultivo (CSDI) (Meyer <i>et al.</i> , 1993)	45
	5. Índice de Potencial Agrohídrológico (IPAH) (Petrasovits, 1984-1990)	38
	6. Índice de la Condición de la Vegetación (VIC) (Kogan, 1990)	40
	7. Índice de Salud de la Vegetación (VHI) (Kogan, 1990)	44
	8. Índice de Sequía Agrícola o Índice Nacional de Lluvia (RI) (Gommes; Petrassi, 1994)	41
	9. Índice de Déficit de Humedad (SMDI) (Narasimhan; Srinivasan, 2005)	21
	10. Índice de Sequía de Referencia para la Agricultura (ARID) (Woli <i>et al.</i> , 2011)	47
Hidrológica (3)	1. Índice de Sequía-Demanda (RDI) (Weghorst, 1996)	115
	2. Índice Hidrológico de Sequía de Palmer (PHDI) (Palmer, 1965)	229
	3. Índice de Sequía de los Caudales Fluviales (SDI) (Nalbantis; Tsakiris, 2008)	61
Índices Mixtos		
Meteorológica/ Agrícola	1. Índice de Severidad de la Sequía de Palmer (PDSI) (Palmer, 1965)	402
	2. Índice de Severidad de la Sequía de Palmer Autocalibrado (SC-PDSI) (Wells, 2004)	263
	3. Índice de Aridez de Palfai (IAP) (Palfai, 1984)	205
	4. Índice NDVI Estandarizado (SVI) (Peters <i>et al.</i> , 2002)	26
	5. Índice de Déficit Conjunto (<i>Joint Deficit Index</i>) (JDI) (Kao; Govindaraju, 2010)	33

Tipo de sequía	Índices/Indicadores	Frecuencia de uso (al año)
Agrícola/ Socioeconómica	1. Índice de Vegetación de las Diferencias Normalizadas (NDVI) (Tucker, 1979)	34
	2. Índice de Humedecimiento Modificado o de disponibilidad hídrica (IHN) (Allen <i>et al.</i> , 1998)	36
Agrícola/ Hidrológica	1. Índice de Sequía por Humedad en el Suelo (MDSI) (Hollinger <i>et al.</i> , 1993)	72
Hidrológica/ Socioeconómica	1. Índice de Sequía Oferta-Demanda (SDDI) (Rind <i>et al.</i> , 1990)	92
	2. Índice de Suministro de Agua Superficial (SWSI) (Shafer; Dezman, 1982)	85
Meteorológica/ Agrícola/Hidrológica/ Socioeconómica	1. Índice de Sequía Agregado (ADI) (Keyantash; Dracup, 2004)	178

Fuente: elaborado por los autores, 2021.

a los indicadores que conforman la sequía hidráulica: el agua almacenada en cuerpos de agua, evapotranspiración, caudales fluviales, precipitaciones, contenido de humedad del suelo y los datos hidrológicos para cada división territorial³⁷.

2. Índice de Suministro de Agua Superficial (SWSI) propuesto por Shafer y Dezman en 1982.

Es un índice de corte hidrológico diseñado para conocer las condiciones de humedad superficial³⁸, que bien podría integrarse a la gestión de la sequía hidráulica ya que tiene una fuerte componente hidrológica de humedad, de escurrimiento, precipitación y agua almacenada en embalses. Es un complemento del Índice de Palmer.

3. Índice de Sequía - Demanda, elaborado por Weghorst en 1996.

Basa sus cálculos en las precipitaciones, el escurrimiento y el volumen de los embalses³⁹. Permite adaptarse a cualquier región de estudio o condiciones físicas, y tiene implícitamente en cuenta el factor clima y el factor hidrológico, que son de las cuestiones a tener en cuenta en la gestión de la sequía hidráulica. Permite relacionar sus valores con la producción agrícola y conocer el equilibrio entre la oferta hídrica y la demanda⁴⁰.

Consideraciones finales

Como se ha visto en este trabajo, la realización de un metaanálisis sobre herramientas de monitoreo y control de las sequías permitió dilucidar, dentro de los tipos reconocidos y según las publicaciones realizadas en los últimos 20 años, las necesidades de desarrollo de índices para la gestión de la sequía hidráulica, considerando que resultó ser la menos estudiada y abordada en el ámbito académico. Desde la perspectiva geoespacial resulta necesario su caracterización en aquellas regiones afectadas por los otros tipos de sequía diferenciados, con la finalidad de lograr su identificación y seguimiento, no solo en América Latina y el Caribe.

Este metaanálisis resaltó la relación existente entre las fluctuaciones por año en el número de publicaciones y su vínculo con sucesos de eventos de sequía y reuniones interdisciplinarias nacionales e internacionales que abordan la temática ambiental con énfasis en los efectos del cambio climático y el incremento del riesgo de sequías.

Se evaluaron los índices más empleados publicados como herramientas de monitoreo y control de sequía, constatándose que no existe referencia de aplicación de estos para evaluar la sequía hidráulica, debido a que este tipo de sequía es un concepto relativamente joven, que en ocasiones ha sido asociado al concepto de sequía hidrológica y socioeconómica, lo que permite afirmar que aún no se han consolidado todas las informaciones referidas a la sequía hidráulica. Especialmente en Cuba, debido a las recurrentes y extensas sequías que afectan a los sistemas de recursos hidráulicos, este metaanálisis constituirá los cimientos para profundizar en esta área de conocimiento para contribuir a la toma de decisiones.

³⁷ OMM, 2016.

³⁸ Gutiérrez; Hernández, 2016, 183-199.

³⁹ Gutiérrez; Hernández, 2016, 183-199.

⁴⁰ Valiente, 2001.

Bibliografía

- Botella, Juan; Zamora, Ángela.** 2017: "El metaanálisis: una metodología para la investigación en educación". *Educación XXI*. 20(2). <https://doi.org/10.5944/educxx1.19030>
- Bravo Sánchez, José Marcelo; Naranjo Ramírez, Gloria del Carmen; Hidalgo Carrasco, Rafael Antonio.** 2019: "La Política de Agua de Chile: una radiografía histórica, legal y administrativa a la gestión del agua en manos del mercado neoliberal". *Agua y Territorio*, 13, 43-54. <https://doi.org/10.17561/at.13.3710>
- Campos Aranda, Daniel Francisco.** 2018: "Contrastes del Índice de Sequías de Palmer Estandarizado (SPDI) en tres ubicaciones climáticas de San Luis Potosí, México". *Tecnología y Ciencias del Agua*. 9(5), 246-279. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2018-05-10>
- Colotti, Eva; Cedeno, Margareth; Montañez, Cristian.** 2013: "La sequía meteorológica y la variación de la superficie agrícola en la Isla de Margarita, Estado Nueva Esparta, Venezuela, período 1972-2004". *Terra Nueva Etapa*. 29(45), 11-53. <https://www.redalyc.org/pdf/721/72130180002.pdf>
- Domínguez, Rafael; León, Mauricio; Samaniego, José Luis; Sunkel, Osvaldo.** 2019: "Recursos naturales, medio ambiente y sostenibilidad. 70 años de pensamiento de la CEPAL". Santiago (Chile), Naciones Unidas, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). <http://hdl.handle.net/11362/44785>
- Escrig Sos, Vicente Javier; Lluca Abella, José Antonio; Granel Villach, Laura.** 2021: "Metaanálisis: una forma básica de entender e interpretar su evidencia". *Revista de Senología y patología Mamaria-Journal of Breast Science*, 34(1) 44-51. <http://dx.doi.org/1.1016/j.senol.2020.05.007>
- Estrela Monreal, Teodoro; Rodríguez Fontal, Alberto.** 2008: "La gestión de la sequía de los años 2004 a 2007". España, Ministerio de Medio Ambiente. https://www.miteco.gob.es/images/es/la-gestion-sequia-2004-2007-mimam-2008_tcm30-436653.pdf
- Flores Marín, Miguel Ángel.** 2014: *Gestión integrada de los recursos hídricos, de la cuenca hidrológica del río Papagayo, Estado de Guerrero*, tesis doctoral. México, Instituto mexicano de tecnología del agua. <http://repositorio.imta.mx/handle/20.500.12013/463>
- Gómez Limón, José Antonio; Guerrero Baena, María Dolores.** 2019: "Diseño de un seguro indexado para la cobertura del riesgo de sequía hidrológica en la agricultura de regadío". *Agua y Territorio*, 13, 79-92. <https://doi.org/10.17561/at.13.4057>
- Google Scholar Metrics.** 2021: https://scholar.google.com/citations?view_op=top_venues&vq=es
- Gutiérrez Hernández, José Evelio; Hernández Cerda, María Engracia.** 2016: "Situación actual de los índices en uso para el estudio de la sequía". *Ciencias de la Tierra y el Espacio*, 17(2). 183-199. <https://docplayer.es/85669737-Situacion-actual-de-los-indices-en-uso-para-el-estudio-de-la-sequia-current-status-of-the-indexes-in-use-for-the-drought-study.html>
- Heim Jr., Richard R.** 2002: "A review of twentieth-century drought indices used in the United States". *Bulletin of the American Meteorological Society*. 83(8), 1149-1166. <https://doi.org/10.1175/1520-0477-83.8.1149>
- Journal Impact Factor Report (Citefactor).** 2021: *Academic journal of science*. <https://www.citefactor.org>
- Maestu, Josefina.** 2015: "Agua y Desarrollo sostenible: Aplicación de los objetivos de desarrollo sostenible relacionados con el Agua. La relevancia de la tecnología". *Revista Water Monographs. Agua y Desarrollo Sostenible*. (3)4-11. https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/pdf/WM_IIIESP.pdf
- Matés Barco, Juan Manuel.** 2013: "La conquista del agua en Europa: los modelos de gestión (siglos XIX y XX)". *Agua y Territorio*, 1, 21-29. <http://dx.doi.org/10.17561/at.v1i1.1030>
- Méndez Valdés, O.; Rivera Socorro, E. de la C.; Llanusa Ruíz, H.; Hernández Valdés, A.O.** 2018: "Enfrentamiento a la sequía operacional en la empresa Aguas de La Habana". *Revista Ingeniería Hidráulica y Ambiental*. 39(2) 112-123.
- NUVE.** 2020: "Ranking de investigación científica por países". *Revista de difusión de la Investigación científica y tecnológica*. <https://www.revistanuve.com/ranking-investigacion-cientifica-por-paises-2>
- Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres.** 2021: *GAR Informe Especial sobre la Sequía 2021: Resumen para responsables de políticas*. Ginebra. <https://www.undrr.org/media/72528>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).** 2018: *AGORA: Acceso a la Investigación Mundial en Línea sobre Agricultura. Guía del usuario*. <http://www.fao.org/3/ca9924es/CA9924ES.pdf>
- Organización Meteorológica Mundial (OMM); Asociación Mundial para el Agua.** 2016: "Manual de indicadores e índices de sequía". *Programa de gestión integrada de sequías*, 1-54. https://www.droughtmanagement.info/literature/WMO-GWP-Manual-de-indicadores_2016
- Peña Gallardo, M; Gámiz Fortís, S. R.; Castro-Diez, M. J; Parra Esteban.** 2016: "Comparative analysis of drought indices in Andalusia during the period 1901-2012". *Cuadernos De Investigación Geográfica*. España, Universidad de La Rioja. 42(1), 67-88. <https://doi.org/10.18172/cig.2946>

- Ponvert-Delisle Batista, Dámaso Ramón.** 2016: "Algunas consideraciones sobre el comportamiento de la sequía agrícola en la agricultura de Cuba y el uso de imágenes por satélites en su evaluación". *Revista de Investigación Educativa ResearchGate*. 37(3), 22-41. <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.1.4591.3843>
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD).** 2012: *Crisis en el cuerno de África. Respuesta del PNUD a la crisis en África*. <https://www1.undp.org>
- Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de la UNESCO (WWAP).** 2019: *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos 2019: No dejar a nadie atrás*. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000367304>
- Science Journal Impact Factor (SCI Journal).** 2020. *Check the Latest Impact Factor*. <https://www.scijournal.org/impact-factor-of-adv-water-resour.shtml>
- Scimago Institutions Rankings. SCImago Journal (SJR).** 2021. *Scimago Journal & Country Rank. Scopus. Elsevier B.V.* <https://www.scimagojr.com/index.php>
- Suárez Ibujés, Mario Orlando.** 2013: "Distribución de frecuencias para datos agrupados en intervalos". <https://www.monografias.com/trabajos87/distribucion-frecuencias-datos-agrupados-intervalos/distribucion-frecuencias-datos-agrupados-intervalos.shtml>
- Suárez Ibujés, Mario Orlando.** 2018: *Interaprendizaje de estadística básica - Segunda edición*. Ibarra (Ecuador), Universidad Técnica del Norte. <https://1library.co/document/zw524wz-interaprendizaje-de-estadistica-basica-segunda-edicion.html>
- Urquillo Reguera, Julia.** 2015: *La gestión de la sequía: contribuciones para su evaluación*, tesis doctoral. España, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes, Forestal y Medio Natural. https://www.fundacionaquae.org/wp-content/uploads/2019/01/6_TESIS_Julia-Urquijo_final-2015-1.pdf
- Valiente, Óscar Marcos.** 2001: "Sequía: definiciones, tipologías y métodos de cuantificación". *Revista Científica Investigaciones Geográficas*, 26, 59-80. <https://doi.org/10.14198/INGEO2001.26.06>
- Vilches, Amparo; Gil Pérez, Daniel; Toscano, Juan Carlos; Macías, Oscar.** 2014: "Poner fin al agotamiento y destrucción de recursos naturales". *Revista de Investigación Educativa - Research Gate*. https://www.researchgate.net/publication/302414407_Poner_fin_al_agotamiento_y_destruccion_de_los_recursos_naturales
- Villacís Rivadeneira, Eugenio; Marrero de León, Norberto.** 2017: "Evaluación temporal de sequías en la Hoya de Guaylabamba provincia de Pichincha Ecuador". *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 38(2), 114-125. <https://riha.cujae.edu.cu/index.php/riha/article/view/385>
- Yurisbel Gallardo, Ballat.** 2015: *Sistema de Gestión de Sequía para la mitigación y adaptación de los impactos negativos en áreas agrícolas del municipio Venezuela de la provincia Ciego de Ávila*. Múnich, GRIN Verlag. <https://www.grin.com/document/312093>