Organización
de las Naciones Unidas
para la Educación,
la Ciencia y la Cultura

CAZALAC
Centro del Agua para Zonas
Áridas y Semiáridas de
América Latina y El Caribe

ATLAS
DE SEQUÍAS
de América Latina y el Caribe

ATLAS
DE SEQUÍAS
de América Latina y el Caribe

Publicado en 2018 por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, 7, place de Fontenoy, 75352 Paris 07 SP, Francia y CAZALAC, Benavente 980, La Serena, Chile.

© UNESCO y CAZALAC 2018

ISBN: 978-92-3-300097-1

Esta publicación está disponible en Open Access bajo la licencia Attribution-ShareAlike 3.0 IGO (CC-BY-SA 3.0 IGO) (http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/igo/). Al utilizar el contenido de esta publicación, los usuarios aceptan estar sujetos a los términos de uso del Repositorio de Acceso Libre de la UNESCO (www.unesco.org/open-access/terms- use-ccbysa-en). La presente licencia se aplica exclusivamente al contenido textual de la publicación. Para el uso de cualquier material no claramente identificado como perteneciente a la UNESCO o CAZALAC, se solicitará permiso previo.

Las opiniones, conclusiones o recomendaciones que se expresan en este material son las de los autores y no reflejan necesariamente las opiniones de la UNESCO, FUST o CAZALAC.

Esta publicación ha sido elaborada por el Centro de Zonas Áridas y Semiáridas de América Latina y el Caribe (CAZALAC) y el Programa Hidrológico Internacional de la UNESCO (PHI) en el marco del proyecto ´Fortaleciendo la Seguridad Hídrica: Impactos Climáticos y Respuestas de adaptación en África, Asia y América Latina y el Caribe´, financiado por el Fondo Fiduciario Científico de Flandes de la UNESCO (FUST) y en el marco del Programa G-WADI de la UNESCO PHI.

El desarrollo del Atlas de Sequías de América Latina y el Caribe ha sido posible gracias al apoyo del International Center for Integrated Water Resource Management (ICIWaRM) y el European Joint Research Centre (JRC), y ha recibido apoyo financiero de la Comisión Europeo (EU-DEVCO) a través de los programas EUROCLIMA y RALCEA.

Autores de esta publicación:

Dr. Jorge Núñez Cobo, Centro de Agua para Zonas Áridas y Semiáridas de América Latina y el Caribe, (CAZALAC); Depto. Ingeniería de Minas, Universidad de La Serena, La Serena, Chile

Dr. Koen Verbist, Programa Hidrológico Internacional, División de Ciencias del Agua, UNESCO París.

Con asistencia de: Claire Marin Hugon and Barbara Ávila, UNESCO-PHI

Diagramación y Diseño: Sergio Baros

Fotografías: Portada: © Pixabay/PublicDomainPictures, © Pixabay/skeeze, CC Y SA

Referencia:

Núñez Cobo, J. y K. Verbist (Eds.). 2018. Atlas de Sequía de América Latina y el Caribe. UNESCO y CAZALAC, 204p.

CON APOYO DE

US Army Corps of Engineers
ICIWaRM
Flanders State of the Art
JRC EUROPEAN COMMISSION
EUROCLIMA
RALCEA

Agradecimientos

CAZALAC y UNESCO PHI agradecen, de manera especial, a los profesionales, técnicos, investigadores y estudiantes que contribuyeron y apoyaron en el desarrollo metodológico y el desarrollo del Atlas de Sequía, y en particular:

AMÉRICA DEL NORTE

James R. Wallis (Universidad de Yale and IBM, USA)
Melvin Schaefer (MGS Engineering Consultants, USA)
William S. Logan (ICIWaRM, USA)
Jason Giovannettonne (ICIWaRM, USA)
Michelle Hallack-Alegría (UABC, México)
Luis Brito Castillo (CIBNOR, México)

AMÉRICA CENTRAL

Luis Espinoza (DGRH, Honduras)
Tania Peña (UNAH, Honduras)
Erick Martinez (AHAC, Honduras)
José Daniel Mejía (AHAC, Honduras)
José Zúñiga (ICE, Costa Rica)
Erick Muñoz (UCR, Costa Rica)

EL CARIBE

Roberto Aroche (INSMET, Cuba)
Braulio Lapinel (INSMET, Cuba)
Raidel Baez (InsTEC, Cuba)

AMÉRICA DEL SUR

René Garreaud (UChile, Chile)
Raúl Naranjo (UChile, Chile)
Humberto Alves Barbosa (UFAL, Brasil)
Catarina de Oliveira Buriti (INSA, Brasil)
Leandro Rodrigo Macedo da Silva (UFAL, Brasil)
Carlos Alejandro Uzcátegui Briceño (UFCG, Brasil)
Andrés Ravelo (CREAN, Argentina)
Roberto E. Zanvettor (CREAN, Argentina)
Pedro E. C. Boletta (CREAN, Argentina)
Sofía S. Sánchez (CREAN, Argentina)
Olga Penalba (UBA, Argentina)

Franklin Javier Paredes Trejo (UNELLEZ, Venezuela)
Barlin Orlando Olivares (UNELLEZ, Venezuela - Universidad de Córdoba, España)
Carlos Uzcategui (UNELLEZ, Venezuela)
Julia Acuña (SENAMHI, Perú)
Oscar Felipe (SENAMHI, Perú)
Waldo Lavado (SENAMHI, Perú)
Dora Soto (ANA, Perú)
Joel Rojas Acuña (UNMSM, Perú)
Bram Willems (UNMSM, Perú)
Tony Anculle (UNMSM, Perú)
Fanny Friend (CIIFEN, Ecuador)
Pilar Ycaza (CIIFEN, Ecuador)
Amparo de Lourdes Cóndor Quishpe (INAMHI, Ecuador)
René Alcibíades Moya Silva (INAMHI, Ecuador)
Oscar Marcelo Ayala Campaña (INAMHI, Ecuador)
Gilma Bertilda Carvajal Mera (INAMHI, Ecuador)
Wellington Augusto Bastidas Guevara (SENAGUA, Ecuador).
Marta Cecilia Cadena (IDEAM, Colombia)
Joana Pérez (UNGRD, Colombia)
María Teresa Martínez Gómez (UNGRD, Colombia)
Claudia Romero (UST, Colombia)
Guadalupe Tiscornia (INIA-GRAS, Uruguay)
Agustín Gimenez (INIA-GRAS, Uruguay)
Mario Bidegain (INIA-GRAS, Uruguay)
María Methol (OPYPA-MGAP, Uruguay)
Alejandro Pastén-Violeta González (UNA, Paraguay)
Violeta González (UNA, Paraguay)
Magali García (UMSA, Bolivia)
Claudia Canedo (UMSA, Bolivia)
Gavi Alavi (UMSA, Bolivia)

EUROPA

César Carmona-Moreno (JRC, Comisión Europea)
Juan Arévalo (JRC, Comisión Europea)

Índice Temático

Índice Temático 3

Prólogo 5

Prólogo 6

Presentación General 7

A modo de historia 10

El Desafío de la Sequía en América Latina y el Caribe 12

Ejemplos desde la Región de América Latina y el Caribe 18

- Argentina 19
- Bolivia 29
- Brasil 43
- Chile 55
- Colombia 71
- Ecuador 89
- Honduras 97
- Perú 107
- Uruguay 119
- Venezuela 127

Atlas de la Frecuencia de Sequías en América Latina y el Caribe 137

- Introducción 138
- Las fuentes de datos utilizadas 138
- Mapas de Frecuencia de Precipitación Anual 140
- Mapas de Recurrencia de Sequías 152

Atlas de Frecuencia de Sequías en Tiempo Real 157

- Un nuevo índice para el monitoreo de la sequía 157
- Índices de sequía 158
- El Índice de Periodo de Retorno de la Precipitación 161
- Ejemplo de aplicación del Índice de Periodo de Retorno 163

Bases técnicas para el Análisis Regional de Frecuencia de la Precipitación **166**

Bases conceptuales del análisis probabilístico en hidrología **166**

Modelos de funciones de distribución de probabilidad **168**

Métodos de estimación de parámetros **170**

El método de los L-momentos **170**

Análisis regional de frecuencias basado en L-momentos **171**

Modelo de 5 etapas del análisis regional de frecuencias con L-momentos **175**

Glosario **176**

Referencias **179**

PRÓLOGO

LA OCURRENCIA DE SEQUÍAS EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE HA CAUSADO IMPACTOS DEVASTADORES en las comunidades vulnerables de la Región, generando impactos sociales, económicos y ambientales severos cuando se extienden en el tiempo. Por ende, conocer la recurrencia de estos eventos es esencial para poder anticipar estas amenazas y poder poner políticas y medidas concretas para enfrentarlas.

La caracterización de la amenaza es un paso crítico para poder gestionar mejor la sequía en la Región y sus impactos en los recursos hídricos. El Atlas de Sequías de América Latina y el Caribe que se presenta aquí aporta a este esfuerzo, generando una referencia sobre la frecuencia del fenómeno. A través de la generación de información climática más sólida para la toma de decisiones, el Atlas apoya directamente a la gestión proactiva de las sequías en la Región. Además, recopila las experiencias nacionales de 10 países en la Región, con respecto a los impactos de las sequías, la recurrencia del fenómeno, pero también de las políticas y medidas de adaptación para hacer frente a la amenaza. En este marco, el Atlas contribuye directamente a las metas y objetivos de la Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible y el Acuerdo de París.

El desarrollo de esta iniciativa de larga duración, cubriendo un periodo de casi 10 años, se ha encaminado sobre actividades de capacitación, colaboración e intercambio en la Región, generando una masa crítica de expertos capacitados para identificar la amenaza de la sequía en la Región y para definir soluciones concretas para crear sociedades más resilientes a las amenazas hidroclimáticas.

Este Atlas, por ende, es un ejemplo de colaboración regional, donde las redes del Programa Hidrológico Internacional (PHI) de la UNESCO y su ´Familia del Agua´, a través de sus centros de investigación e universidades asociados, han colaborado para avanzar hacia un análisis regional de las sequías. Gracias al apoyo financiero de los donantes de este proyecto: el Gobierno de Flandes (FUST), el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos (USACE) y su Centro Internacional de Gestión Integral de los Recursos Hídricos (ICIWaRM), y la Comisión Europea a través del Centro Común de Investigación (JRC), se ha organizado más de 10 talleres de capacitación e intercambio para poder implementar los diferentes componentes que contribuyeron al desarrollo del Atlas de Sequías.

El Atlas de Sequías de América Latina y el Caribe es una contribución directa a la octava fase del PHI (2014-2021) 'Seguridad hídrica: Respuestas a desafíos locales, regionales y globales'. A través de capacitaciones, intercambio de experiencias a nivel regional y el desarrollo de soluciones innovadoras, las actividades que contribuyeron al desarrollo de este Atlas apoyaron a transferir conocimiento para gestionar activamente los recursos hídricos en la región de América Latina y el Caribe. En ese sentido, el Atlas se establece como una base para fortalecer la seguridad hídrica en la región, y da el paso al establecimiento de sistemas de monitoreo y pronóstico de las sequías, para fortalecer la gestión proactiva de las sequías en la Región.

Blanca Jiménez-Cisneros
Director, Secretariado de la División de las Ciencias del Agua
Programa Hidrológica Internacional (PHI)
UNESCO

PRÓLOGO

LOS EVENTOS DE SEQUÍA HAN ESTADO SIEMPRE PRESENTES EN LA HISTORIA DEL SER HUMANO. DIVERSOS escritos pueden avalar que, desde la antigüedad, algunos pueblos han desaparecido, migrado o sufrido hambrunas y enfermedades como consecuencia de este fenómeno climático.

Es probable que, en el pasado, diversas civilizaciones hayan constatado que las sequías puedan ser altamente recurrentes. Así, los sistemas de riego, la distribución de cultivos para aprovechar los excesos de agua, o incipientes embalses que datan de siglos, no sólo deben haber buscado ser más eficientes en el uso del agua, sino que podrían considerarse como medidas de adaptación ante la menor disponibilidad hídrica.

Al contrastar las respuestas de las sociedades actuales ante las sequías, podremos notar que no ha habido muchas diferencias. Las medidas de adaptación del pasado, mencionadas previamente, son aplicadas en la actualidad en sus versiones más sofisticadas, pero además, agregan importantes opciones tecnológicas, tales como el empleo de aguas subterráneas, la desalinización y uso de agua de mar o el reciclaje de agua, entre otras. A pesar de estos avances, diversos países continúan sufriendo migraciones, hambrunas y enfermedades a causa de carencias temporales de agua y sus sistemas económicos son, en algunos casos, fuertemente afectados. Esto además puede generar inestabilidades políticas, porque las soluciones a estos problemas no resultan, en muchos casos, suficientes.

A este respecto, se da la contradicción de que, a pesar de contar con tecnologías que permiten disponer de nuevas fuentes de agua y mayor eficiencia en su utilización, las sequías siguen impactando al bienestar humano. Entonces ¿cómo puede hacerse frente a este fenómeno? La respuesta está en anticiparse; en saber con antelación cuáles medidas de adaptación deben estar implementadas y dónde pueden ser aplicadas, de tal manera de que el impacto de la sequía pueda ser controlado. De esta forma, se actúa de forma preventiva y no de manera reactiva; se actúa conforme a la Gestión del Riesgo de Sequía y no según la Gestión de la Crisis. Para ello, la información robusta, clara y basada en evidencia es fundamental. Y el Atlas de Sequías para América Latina y el Caribe que aquí se presenta, apunta precisamente en esa dirección.

Tenemos la convicción absoluta de que el Atlas de Sequías para América Latina y el Caribe se constituirá en un instrumento de incalculable valor para la planificación y la toma de decisiones, en un marco de Gestión de Riesgo de Sequías, en los diversos países del continente, en cuanto a prevenir los efectos de las sequías y evitar las consecuencias catastróficas de este fenómeno en las economías y bienestar humano de nuestras naciones. La información encontrada en este Atlas resume una experiencia de años de trabajo; de recopilación y análisis de datos; de creación y aplicación de metodologías, desarrollo de talleres, cursos y reuniones, etc. El presente documento, fruto de la adopción y adaptación en la Región, de metodologías para el análisis robusto de frecuencia hidrológica, así como aportes científicos y de estudios de caso a través de diversos ejemplos nacionales, ha surgido del esfuerzo multilateral y la contribución de investigadores, profesionales y técnicos así como autoridades de la Región, junto al fuerte apoyo internacional de agencias norteamericanas y europeas, bajo el liderazgo del Programa Hidrológico Internacional de UNESCO y del Centro del Agua para Zonas Áridas y Semiáridas de América Latina y el Caribe-CAZALAC. No podemos dejar de destacar el rol fundamental que tuvo el Fondo Fiduciario del Gobierno de Flandes en todo este proceso. La información encontrada en este Atlas es única a nivel mundial. Sin dudas, un paso fundamental para la seguridad hídrica, económica, social y ambiental de los países de América Latina y el Caribe.

Gabriel Mancilla Escobar
Director Ejecutivo del Centro del Agua para Zonas Áridas y Semiáridas de América Latina y el Caribe-CAZALAC

© Pixabay/josealbafotos, CCo Creative Commons

Presentación General

”EL AGUA Y SANEAMIENTO SON EL NÚCLEO DEL DESARROLLO SOSTENIBLE. LA GAMA DE SERVICIOS QUE brindan apuntalan la reducción de la pobreza, el crecimiento económico y un ecosistema saludable. Sin embargo, nuestras comunidades se enfrentan a desafíos crecientes relacionados con el agua, incluido el acceso limitado al agua potable y al saneamiento, una mayor presión sobre los recursos hídricos y los ecosistemas, así como una mayor frecuencia y gravedad de las sequías y las inundaciones”. Con estas palabras, el Secretario General Adjunto para Asuntos Económicos y Sociales de las Naciones Unidas, Sr. Liu Zhenmin, en representación del Secretario General de las Naciones Unidas, Sr. António Guterres, expresaba el rol que el agua tiene hoy en la agenda global, a propósito de la Ceremonia de Inauguración de la Conferencia Internacional de Alto Nivel para impulsar el Decenio Internacional para la Acción, “Agua para el Desarrollo Sostenible”, 2018-2028, celebrada en Dusambé, Tayikistán, en junio de 2018 (UNDESA, 2018).

En efecto y tal como señalaba el Secretario General Adjunto, “El agua está en el corazón de recientes acuerdos clave como la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, el Marco de Sendai para la Reducción del Riesgos de Desastres y el Acuerdo de París 2015 sobre cambio climático”.

Un aspecto del agua, que se constata en las expresiones referidas, es su transversalidad respecto de los objetivos de múltiples acuerdos de cooperación internacional: Por una parte, el agua vista como fuente de bienestar —así como de amenaza, producto de su carencia—, conlleva un desafío directo a la consecución de la Agenda 2030 y los Objetivos del Desarrollo Sostenible, como por ejemplo el fin de la pobreza, hambre cero, salud y bienestar, igualdad de género, agua limpia y saneamiento, energía asequible y no contaminante, reducción de desigualdades, acción por el clima, vida de ecosistemas terrestres y paz, justicia e instituciones sólidas, por mencionar algunos en los que el agua ejercería una influencia significativa. Por otra parte, el agua vista como extremo hidrológico (Kundzewicz and Matczak, 2015), se vincula de manera directa con la necesidad de reducir los riesgos de desastres hidrometeorológicos, en el contexto del Marco de Sendai o del Acuerdo de Paris 2015.

La Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) ha reconocido largamente la importancia del agua para los derechos humanos y su dignidad, para el desarrollo sustentable y para una paz duradera, tal como lo expresó en 2015 la Directora General de UNESCO, Sra. Irina Bokova, a propósito de la celebración de los 50 años de los programas para el desarrollo sustentable (UNESCO, 2015a). De acuerdo con la Directora General, la situación ha cambiado en los últimos 50 años, desde que en 1965 UNESCO y sus socios establecieran el Decenio Hidrológico Internacional, para colectar datos científicos y liderar la investigación internacional concertada y la educación para mejorar el uso del agua; liderazgo que diez años después, en 1975, conduciría a la creación del Programa Hidrológico Internacional de UNESCO, el que "a partir de esas bases, llevaría esa visión más allá, trabajando en fases sucesivas con los Estados Miembros". Los desafíos hídricos contemporáneos han requerido una respuesta cooperativa internacional mayor, promoviendo la ampliación del Programa Hidrológico Internacional hacia la ´Familia del Agua de UNESCO´, compuesta a la fecha por 27 centros de agua bajo los auspicios de UNESCO y 35 cátedras de agua en 54 países miembros en el mundo, que han cumplido un rol vital hacia la concreción de la Agenda 2030 y los Objetivos del Desarrollo Sostenible (Jiménez-Cisneros, 2015).

De manera similar, y paralelamente, UNESCO se ha comprometido a operar en línea con el Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030 y el Acuerdo de París 2015, con el objetivo de promover una cultura de cuidado y resiliencia (UNESCO, 2015a). Que el agua tiene un rol consustancial en la materialización de ambos acuerdos queda en evidencia a través de iniciativas como, por ejemplo, el Programa Integrado de Gestión de Sequías soportado por la Organización Meteorológica Mundial y la Asociación Mundial para el Agua como contribución al Marco Mundial para los Servicios Climáticos en el primer caso (WMO-GWP, 2017), y la adopción del Pacto de París sobre el agua y la adaptación al cambio climático en las cuencas de los ríos, lagos y acuíferos, durante la vigésimo primera Conferencia de las partes del Convenio Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, en el segundo caso (COP21/CMP11).

En este contexto, el Programa Hidrológico Internacional de UNESCO, el único programa intergubernamental con base científica y de cooperación en materias hídricas del sistema de las Naciones Unidas (UNESCO, 2015a), ha tenido un rol destacado de apoyo a la UNESCO para dar forma a los Objetivos de Desarrollo Sostenible en materias de agua y saneamiento para la Agenda 2030. Lo anterior, particularmente, gracias a la Fase VIII del PHI "Seguridad Hídrica: respuestas a los desafíos locales, regionales y globales (2014-2021)". La seguridad hídrica ha emergido como un nuevo paradigma durante las últimas dos décadas, atrayendo importante atención no tan solo en el ámbito académico sino también en el de la toma de decisiones en temas de política pública local, regional y global. Como la ha hecho notar Adeel (2017), "la seguridad hídrica es parte integral de los objetivos mundiales de desarrollo humano y económico". Se puede colegir, de lo anterior, que la seguridad hídrica es un pilar fundamental para alcanzar las metas de la agenda global del desarrollo sostenible y que es indispensable, además, reconocer que esta seguridad hídrica puede verse seriamente amenazada, entre otros factores, por los impactos de un clima cambiante y los desastres naturales vinculados que acompañarán a la humanidad a lo largo del siglo XXI. Ser conscientes de estas amenazas resulta fundamental, entonces, para contribuir a la construcción de sociedades adaptables y resilientes a los desafíos del cambio global.

Una de las amenazas que ha sido reconocida ampliamente por su capacidad de impactar significativamente a la seguridad hídrica y a través de ésta, a los objetivos mundiales de desarrollo, es la sequía. La sequía fue la causa más importante de personas afectadas por desastres naturales en todo el mundo a lo largo del siglo XX (Below *et al*, 2007; Adikari y Yoshitari, 2009). De acuerdo con la Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNISDR 2015), 50 millones y medio de personas en el mundo se vieron afectadas por la sequía sólo en 2015.

La sequía se ha vinculado directamente a la pobreza (ODS 1: Winsemius *et al*, 2015); fue la causa de un tercio, según FAO (2018), de las pérdidas globales de producción agrícola entre 2005-2015 por un monto de 96.000 millones de dólares (ODS 2); ha sido asociada con importantes efectos negativos a la salud humana (ODS 3: K. ole-MoiYoi, 2013; OMS, 2014; Stanke *et al*, 2013; Sena *et al*, 2017); al incremento de la inequidad de género (ODS 5: OMS, 2014); al detrimento de la seguridad hídrica (ODS 6: Cook y Bakker,

2012); a reducciones del potencial energético hidroeléctrico global producto de un clima cambiante (ODS 7: van Vliet, 2016); y ha sido, sin ausencia de controversia, relacionada con el surgimiento de conflictos bélicos y rupturas de los estados de paz o ha sido un factor concurrente, al menos, a la existencia de determinados conflictos o inestabilidad política (ODS 16: Kelley *et al*, 2015; Selby *et al*, 2017; UNSC, 2018).

No resulta sorprendente, con base en la evidencia presentada, la ubicuidad que la sequía está teniendo en el contexto de la agenda global para el desarrollo. En efecto, la preocupación internacional por los impactos de la sequía a nivel global, motivó la organización, por parte de la Organización Meteorológica Mundial (WMO), la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y la Convención de las Naciones Unidas para la Lucha contra la Desertificación (UNCCD), en colaboración con un conjunto de agencias de las ONU, organizaciones nacionales e internacionales y agencias nacionales clave, de una Reunión de Alto Nivel de Políticas Nacionales sobre la Sequía (HMNDP) en 2013 en Ginebra (Sivakumar *et al*, 2014). El objetivo del HMNDP era proporcionar información práctica sobre acciones útiles basadas en la ciencia para abordar los problemas clave de la sequía que están siendo considerados por los gobiernos y el sector privado bajo la UNCCD y las diversas estrategias para hacer frente a este fenómeno. Por su parte, el Programa Hidrológico Internacional en su Octava Fase ha estado brindando apoyo a sus Estados Miembros a través de su Programas ´Red Mundial de Información sobre los Recursos Hídricos y el Desarrollo en las Zonas Áridas (G-WADI)´ y la ´Iniciativa Internacional de Sequías´ (IDI), para mejorar la capacidad humana, orientación de políticas y herramientas en los países para abordar los desafíos relacionados con la sequía (Verbist *et al*, 2016). El foco principal de ambas iniciativas ha estado puesto en los países en vías de desarrollo, particularmente América Latina y África.

América Latina y el Caribe, región que es precisamente objeto de estudio y análisis de la presente publicación, ha sido históricamente vulnerable a los impactos de la sequía. Tal como lo han reseñado una serie de estudios, cuyos resultados principales se presentan en la sección "El Desafío de la Sequía en América Latina y el Caribe" de este documento, la sequía ha tenido el efecto de reducir hasta un 1% el Producto Interno Bruto en la Región y, según un Reporte reciente de FAO (FAO, 2018), del total de pérdidas agrícolas de la Región, entre 2005 y 2015, equivalentes a US $22.000 millones, casi un 60% de ellas — US$13.000 millones— se debieron a la sequía.

Responder, entonces, al llamado de la HMNDP, en términos de a) Fomentar enfoques normalizados para evaluar la vulnerabilidad y las repercusiones; b) Utilizar sistemas eficaces de vigilancia y alerta temprana de la sequía y c) Mejorar las medidas de preparación y atenuación (Sivakumar *et al*, 2014); así como el del Programa Hidrológico Internacional de UNESCO en términos de fortalecer la gestión y políticas de riesgo de sequías (Verbist *et al*, 2016), constituye un imperativo científico, moral y político. El presente documento, el Atlas de Sequías de América Latina y el Caribe, se ha inspirado, precisamente, en ese llamado. El Atlas de Sequías de ALC, en este contexto, no sólo aporta y sintetiza un trabajo de larga data para elaborar una herramienta de análisis de la sequía adaptada a las características propias de la Región. Resume, y tal vez sea esto lo más destacable, un esfuerzo colaborativo y de cooperación multilateral que involucró a decenas de científicos, técnicos, autoridades, instituciones locales, nacionales, regionales e internacionales. El Atlas de Sequías representa, de este modo, no solo una experiencia de desarrollo y aplicación de una herramienta de análisis de frecuencia hidrológica de la precipitación en América Latina y el Caribe. Constituye, en la práctica, una verdadera experiencia de construcción de una plataforma de cooperación científica y política, regional e internacional, puesta al servicio de la reducción de brechas para hacer frente a una de las principales amenazas a la Agenda Global de Desarrollo del siglo XXI: la sequía.

Es la esperanza de los autores y colaboradores de esta publicación el que, desde su modesto ámbito de acción y parafraseando a la Secretaria Ejecutiva de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) en su prólogo a la "Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: Una oportunidad para América Latina y el Caribe", contribuya, aunque sea de manera tangencial, a la generación de herramientas que permitan "la creación de sociedades inclusivas y justas, al servicio de las personas de hoy y de futuras generaciones" (CEPAL, 2018).

© Pixabay/Alisson Tiago, CCo Creative Commons

A modo de historia

ESTA PUBLICACIÓN RESUME EL TRABAJO DE LOS ÚLTIMOS AÑOS REALIZADO POR LOS AUTORES PARA llevar a la comunidad científica internacional, tomadores de decisión y gestionadores del riesgo climático de la Región de América Latina y el Caribe, el denominado "Atlas de Sequías de América Latina y el Caribe".

Su trabajo se inició en 2008 cuando los autores, en el marco de las actividades en la Región por parte del Centro UNESCO Categoría 2 CAZALAC y con el apoyo del Gobierno de Flandes y del Instituto de Recursos Hídricos (IWR) del Cuerpo de Ingenieros de Estados Unidos se lanzaron a la misión de generar un producto que diera cuenta de la frecuencia con que los eventos de sequía meteorológica impactaban a la región de América Latina y el Caribe. En particular, construir un Atlas de Frecuencia de Sequías, con base en la experiencia estadounidense generada hacia el final de los años 90 a través del Estudio Nacional de Sequías, impulsado por el Senado de los Estados Unidos.

Ese vínculo permitió invitar al desarrollador del Atlas de Sequías de EE.UU., al Dr. James R. Wallis (IBM y la Universidad de Yale), a un taller internacional en Santiago de Chile, organizado por UNESCO y CAZALAC. El objetivo del Taller era iniciar los pasos para transferir y adaptar la metodología denominada Análisis Regional de Frecuencias basado en L-momentos (RFA-LM) hacia los países de América Latina y el Caribe. Dicha metodología es la base que sustenta el Atlas que se presenta en este documento.

Las dificultades encontradas en el uso de la metodología durante el taller en Santiago, fueron evaluadas y remediadas durante un taller de trabajo en Olympia, EEUU, donde los autores se reunieron con James Wallis y Melvin Schaefer, un experto en el diseño hidrológico de represas y la estimación de riesgos de inundación utilizando la metodología RFA-LM (Micovic *et al.*, 2016). Como consecuencia, Melvin Schaefer elaboraría el software L-RAP que sería utilizado en futuras capacitaciones en la Región. Este desarrollo permitió un incremento exponencial de actividades de investigación y difusión en la Región. Una de ellas fue un taller en Lima, organizado con la colaboración de Julia Acuña y Oscar Felipe del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología de Perú (SENAMHI) en 2009. Este primer ciclo de capacitaciones culminó con la publicación del primer artículo de la aplicación de RFA-LM en Chile, publicado en el Journal of Hydrology en 2011 (Nuñez *et al*, 2011). En el intertanto, el Instituto de Recursos Hídricos (IWR) del Cuerpo de Ingenieros de Estados Unidos constituyó en 2009 el Centro ICIWaRM (´International Center for Integrated Water Resources Management´) bajo los auspicios de la UNESCO. Así, se inició una nueva etapa de colaboración en esta materia, con un intercambio de personas y el desarrollo de un nuevo software de apoyo (ICI-RAFT), que terminó siendo adoptado como software de referencia por el Cuerpo de Ingenieros de EE.UU.

En 2011, paralelamente, CAZALAC inició un conjunto de actividades de vinculación con el Programa EUROCLIMA de la Comisión Europea, liderado en su componente ´Agua´ por César Carmona-Moreno del Centro Común de Investigación (JRC). En estas actividades de capacitación se optó por utilizar la metodología RFA-LM para el análisis regional de frecuencias de la precipitación, para fortalecer la difusión del método y para trabajar hacia productos concretos a nivel nacional, formando la base del Atlas de Sequías de América Latina y el Caribe.

Se inició de esa manera un trabajo sistemático para difundir la metodología en diversos países de América Latina y el Caribe de modo de generar una masa crítica para su aplicación y adopción por investigadores, profesionales, técnicos, académicos y estudiantes. Este trabajo sistemático incluyó cursos de capacitación en el Centro Común de Investigación (JRC) de la Comisión Europea en Italia (2011) apoyados por César Carmona-Moreno y Juan Arévalo; un taller organizado por Humberto Barbosa de la Universidad Federal de Alagoas en Brasil (2011); un curso-taller de fortalecimiento de capacidades organizado por el Ministerio de Ciencia y Tecnología en Cuba (2012) cuya logística estuvo en manos de Roberto Aroche y Braulio Lapinel del Instituto de Meteorología de Cuba (INSMET) en La Habana, así como un curso de similares características organizado con apoyo de Michelle Hallack-Alegría del Centro de Ingeniería y Tecnología (CITEC) de la Universidad Autónoma de Baja California en México (2012).

Posteriormente se realizó un taller final en Santiago de Chile para los países de América Latina en 2013, gracias al apoyo de Programa RALCEA de la Comisión Europea (´Red de Centres de Excelencia en Agua de América Latina y el Caribe´). Específicamente para la Región del Caribe, la UNESCO organizó un taller de capacitación para elaborar el Atlas de Frecuencia de Sequías en el Caribe, en el marco del proyecto MWAR-LAC (´Manejo de Recursos Hídricos en Zonas Áridas de América Latina y el Caribe´), el cual tuvo lugar en Jamaica (2013). Estas actividades de capacitación y difusión tuvieron sus últimos hitos en 2015 con la realización del Taller de Actualización del Atlas de Sequías de Perú, organizado con apoyo de Dora Soto de la Autoridad Nacional del Agua, y en 2016 en Paraguay con apoyo de Max Pastén de la Universidad Nacional de Asunción. En ese año, gracias a la experiencia desarrollada tras intensos años de colaboración, se publicó una adaptación a la metodología en el Journal of Hydrology (Nuñez *et al*, 2016) para poder aplicarla en condiciones de gran escala espacial y condiciones complejas, como lo es la Región de América Latina y el Caribe. Dicha adaptación es la que ha permitido generar el Atlas en su versión final.

Fruto del trabajo realizado, cientos de investigadores, profesionales y técnicos de Universidades y Centros Meteorológicos de la Región fueron capacitados en la aplicación del análisis regional de frecuencias basado en L-momentos. Muchos estudiantes (de México, Venezuela, Perú, Bolivia, Paraguay) fueron recibidos en CAZALAC para capacitarse como parte de sus trabajos de Memoria. Muchos otros (en México, Costa Rica, Perú) fueron apoyados con herramientas de comunicación a distancia.

Como resultado del desarrollo del Atlas, diversos softwares (L-RAP, L-MAP, ICI-RAFT, REFRAN-CV) fueron desarrollados a lo largo de estos años de manera colaborativa para la aplicación de la metodología. Artículos científicos en diversas revistas internacionales dan cuenta, igualmente, de la asimilación de la misma por la comunidad científica de la Región. En pocas palabras, los mapas que acompañan y son la base de este documento no hubiese sido posible obtenerlos sin la colaboración y apoyo de innumerables instituciones, organismos internacionales, colegas y amigos, que confiaron en esta propuesta. Vaya a todos ellos el agradecimiento de los autores.

Jorge Núñez Cobo – Koen Verbist
La Serena, Chile – Paris, France
1 de Octubre de 2018

El Desafío de la Sequía en América Latina y el Caribe

© Pixabay/congerdesign, CCo Creative Commons

LA SEQUÍA HA SIDO, ES Y PROBABLEMENTE SEGUIRÁ SIENDO UNO DE LOS MÁS IMPORTANTES DESASTRES socio-naturales que afectan a la sociedad y el ambiente a nivel global. A pesar de que ha habido una continua discusión, principalmente académica, respecto de la ocurrencia, tendencia e incertidumbres sobre la frecuencia de los eventos de sequía a nivel global, un hecho objetivo es que este fenómeno causó más de la mitad de las muertes asociadas a desastres naturales a nivel global durante el siglo XX y fue, después de las inundaciones, el desastre natural con el segundo mayor nivel de impactos humanos (Below *et al*, 2007; Adikari y Yoshitari, 2009). De hecho, de acuerdo con la Oficina para la Reducción del Riesgo de Desastres de las Naciones Unidas, 50.5 millones de personas fueron afectadas por la sequía sólo en 2015 (UNISDR, 2015).

La preocupación internacional por el impacto de la sequía a nivel global, motivó la organización, en 2013, de una Reunión de Alto Nivel de Políticas Nacionales Sobre la Sequía (en inglés: HMNDP), gracias a un esfuerzo conjunto de la Convención de las Naciones Unidas para la Lucha contra la Desertificación (UNCCD), la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y la Organización Meteorológica Mundial (WMO) (Sivakumar *et al*, 2014). Como resultado de dicha reunión, se propusieron cinco recomendaciones a través de las cuales la ciencia puede contribuir a dar apoyo a planes de gestión nacional de sequías. Entre ellas destacan: a) Fomentar enfoques normalizados para evaluar la vulnerabilidad y las repercusiones; b) Utilizar sistemas eficaces de vigilancia y alerta temprana de la sequía y c) Mejorar las medidas de preparación y atenuación. El análisis de frecuencia de las precipitaciones, base del presente Atlas, contribuye a dar respuesta a dichas recomendaciones. Respecto de la primera recomendación, porque el riesgo- y su contraparte, la probabilidad de ocurrencia- forma parte integral de los enfoques de análisis de vulnerabilidad. Respecto de la segunda, porque los sistemas de monitoreo, especialmente aquellos basados en índices estandarizados de sequía, se fundamentan precisamente en las estimaciones de recurrencia de sequías. En el caso de la tercera recomendación, porque el conocimiento de la frecuencia con que los eventos de sequía ocurren en un determinado lugar, forman parte integral del análisis de exposición e impactos y apoyan la generación de subsecuentes planes de adaptación y mitigación.

Visto en su conjunto, el Atlas de Sequías de América Latina y el Caribe, así como los casos de estudio que acompañan este documento, a través de un conjunto de contribuciones nacionales, no sólo contribuyen de manera directa a avanzar en la concreción de las recomendaciones surgidas durante la HMNDP, si no que tributan, a través del desarrollo científico, a las metas de la Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) así como a los propósitos del Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres (RRD) 2015-2030. Lo anterior, por cuanto, como se presentará enseguida, la sequía se ha constituido en uno de los principales desastres naturales que impactan a la Región de América Latina y el Caribe (LAC), con consecuencias directas sobre los niveles de pobreza, hambre, afectación a la salud, disponibilidad de agua y energía, así como sobre su crecimiento y desarrollo. Lo anterior, sumado a la vulnerabilidad diferenciada que existe en la Región, desde las subcontinentales, nacionales y locales, exacerba, en épocas de sequía, las desigualdades de género y sociales e incrementa significativamente las brechas de desarrollo.

Lo anterior puede ser constatado en una serie de indicadores y estudios que dan cuenta de la vulnerabilidad de la Región al fenómeno de la sequía y la necesidad, por tanto, de desarrollar metodologías que permitan "Mejorar la Información de Riesgos y los Sistemas de Alerta Temprana" (UNESCO, 2015b). Lo antes dicho, en un marco —como se ve concretado en este documento— de "alianzas entre múltiples interesados que movilicen e intercambien conocimientos, especialización, tecnología y recursos financieros, a fin de apoyar el logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible en todos los países, particularmente los países en desarrollo" (Objetivo 17.16 de los ODS):

• VULNERABILIDAD A LOS DESASTRES EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE PARA EL PERIODO 1900-2007

En un estudio desarrollado por Maynard-Ford *et al* (2008), sobre vulnerabilidad de América Latina y el Caribe ante los desastres naturales, respecto de la sequía, los autores indicaban que, con base en datos generador por la Base de datos de Eventos de Emergencia (EM-DAT), desde 1900 ciertas regiones

administrativas de ALC habían experimentado, al menos 10 eventos de sequía considerados intensos. Dichas zonas incluían el nordeste de Brasil, la Región Andina y partes de América Central conocida como "el corredor seco". Los autores indicaban que la región del Caribe había experimentado pocos eventos de sequía con excepción de Cuba y Jamaica. Señalaban, además, que muchas de las áreas altamente afectadas por los eventos de sequía eran, a su vez, áreas densamente pobladas, como el nordeste de Brasil y partes de Guatemala y el Salvador. Lamentablemente, los autores no proporcionan una medida objetiva de intensidad de sequía que permita interpretar adecuadamente los datos presentados en términos de distribución espacial de la vulnerabilidad de la sequía en la Región.

- **NÚMERO DE DESASTRES POR SEQUÍA REGISTRADOR POR EM-DAT PARA EL PERIODO 1974-2004**

Las cifras entregadas por Maynard-Ford *et al* (2008) son en alguna medida comparables con las aportadas posteriormente por la Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNISDR, 2009). En efecto, de acuerdo con los autores, el nordeste de Brasil, nordeste de México, parte de Centro América, Cuba y Jamaica en el Caribe, así como el altiplano boliviano en Sudamérica, constituyen algunas de las regiones expuestas al mayor número de eventos de sequía entre 1974-2004.

- **IMPACTO DE LOS DESASTRES EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE 1990-2013**

Habitualmente, el foco de los estudios e informes se concentra en las áreas continentales de la Región y es menor la cantidad de fuentes disponibles sobre los efectos de la sequía en áreas insulares. Al respecto, un reciente informe (UNISDR AM-AECID, 2016) elaborado por la Oficina Regional para las Américas de la Oficina para la Reducción de Riesgos de Desastres de las Naciones Unidas (UNISDR AM), en conjunto con Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID), muestra que las pérdidas y daños acumulados en seis países de las Antillas menores (Antigua y Barbuda, Dominica, Granada, San Cristóbal y Nieves, Santa Lucía y San Vicente y las Granadinas) en el periodo 1990-20213 están asociadas principalmente a eventos de origen hidrometeorológico. La sequía, en particular, explicó el 6% de los registros de los eventos así como el 13% de las personas afectadas.

- **AGUAS INEXPLORADAS - LA NUEVA ECONOMÍA DE LA ESCASEZ Y LA VARIABILIDAD DEL AGUA**

Recientemente, Damania *et al* (2017), en un estudio del Grupo Banco Mundial sobre el vínculo agua-economía-sociedad encuentran que, en América Latina, las pérdidas económicas causadas por eventos de déficit hídrico son cuatro veces mayores que aquellas causadas por eventos de exceso hídrico. En el caso de las ciudades de la Región, impactos hídricos moderados no muestran impactos económicos discernibles, pero aquellos de larga duración—particularmente los déficits— sí muestran estos impactos. Estos impactos tienden a afectar a trabajadores vulnerables, causando pérdidas en ingresos estimadas en US$40 por trabajador al mes, equivalente a un 10% del ingreso medio mensual. Pero además, a nivel de ciudad, los trabajadores de sectores formales pueden perder un 7% de su ingreso durante eventos de déficit hídrico prolongado, mientras que trabajadores informales y aquellos por cuenta propia o pertenecientes a pequeñas empresas pueden perder hasta un 8-11% de su ingreso. Finalmente, los autores indican que, aunque no es concluyente, sus resultados sugieren que en América Latina no existe evidencia estadística discernible de que tanto los periodos de exceso como los de déficit hídrico en zonas rurales generen algún tipo de impacto en las ciudades circundantes. Aunque las razones no son claras, esto podría deberse, según los autores, a la protección ofrecida por las redes de apoyo que emergen en las zonas rurales de la Región.

LA ECONOMÍA DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE: PARADOJAS Y DESAFÍOS DEL DESARROLLO SOSTENIBLE

En 2015, preocupada por los efectos del cambio climático respecto del desarrollo sostenible de la Región, la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) elaboró el estudio "La economía del cambio climático en América Latina y el Caribe: Paradojas y desafíos del desarrollo sostenible" (Samaniego *et al*, 2015). Con relación a los impactos económicos, el documento indica que, en el caso particular de la sequía grave, este fenómeno podría reducir el crecimiento del PIB total y del PIB industrial en un 1%, mientras que el crecimiento del PIB agrícola menguaría en un 2,2%.

LINEAMIENTOS Y RECOMENDACIONES PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL MARCO DE SENDAI PARA LA REDUCCIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES EN EL SECTOR AGRÍCOLA Y SEGURIDAD ALIMENTARIA Y NUTRICIONAL AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE

Con el propósito de identificar los elementos clave para la implementación del Marco de Sendai en el sector agrícola (cultivos, ganadería, bosques, pesca y acuicultura) en la Región, reconociendo la responsabilidad que tiene el sector para contribuir a la reducción del riesgo de desastres, la FAO, en colaboración con la UNISDR, elaboraron una publicación (FAO, 2016) a raíz del lanzamiento del Marco de Acción de Sendai para la Reducción del Riesgo 2015-2030. El estudio presenta el detalle de distribución por subregión de la percepción de las amenazas de origen natural. En lo referente a las amenazas naturales, en el caso del Caribe, se percibe una importancia relativamente homogénea entre la sequía, las inundaciones, los huracanes y los deslizamientos e incendios forestales. Sin embargo, en Centroamérica y América del Sur las sequías, con el primer lugar, y las inundaciones, con el segundo lugar, son las que más importancia presentan. Adicionalmente, y en términos de las prioridades identificadas por los actores gubernamentales, los autores señalan que El Grupo Técnico de Cambio Climático y Gestión Integral del Riesgo del Consejo Agrícola Centroamericano evidenció el rol de los procesos políticos regionales ante amenazas comunes (la sequía recurrente en el corredor seco centroamericano o la crisis de la roya del café en el 2013) en términos de incidencia en las agendas políticas nacionales y su impacto para la evolución de la normativa y mecanismos nacionales para la Gestión del Riesgo de Desastres.

EL IMPACTO DE LOS DESASTRES Y CRISIS EN LA AGRICULTURA Y SEGURIDAD ALIMENTARIA

Recientemente FAO (2018), en su segunda edición del reporte "El impacto de los desastres y crisis en la agricultura y seguridad alimentaria", indica, compartiendo así el diagnóstico de Damania *et al* (2017), que el sector agrícola, anclado por esencia en las zonas rurales, es particularmente vulnerable a los desastres y amenazas naturales. Las sequías, en este sentido, pueden causar déficits hídricos prolongados que pueden dañar los rendimientos si estos ocurren durante ciertos momentos del ciclo de vida de las plantas. De acuerdo con el Reporte, la región de América Latina y el Caribe presentó pérdidas de producción agrícola y de ganado, entre 2005 y 2015, cercanas a los 22.000 millones de dólares. Más aún, 13.000 millones de dólares de estas pérdidas se atribuyeron directamente a la sequía, convirtiendo a este desastre en el más costoso de toda la Región.

El Reporte consigna, además, cómo las pérdidas de producción agrícola y de ganado se han incrementado considerablemente durante los últimos 5 años, con picos pronunciados en 2012 y 2014 asociados a episodios severos de sequías gatilladas por condiciones La Niña, que destruyó cosechas en Argentina y Brasil en 2012 y gran parte de Centroamérica en 2014, especialmente los sectores agrícola y ganadero en El Salvador, Guatemala y Honduras.

- **TOWARDS NATIONAL DROUGHT POLICIES IN LATIN AMERICA AND THE CARIBBEAN REGION**

  Recientemente, y a propósito de la Conferencia Regional sobre Preparación para la Sequía en la Región de América Latina y el Caribe, celebrada en Santa Cruz de la Sierra, Bolivia, fue elaborado el Documento Blanco titulado Hacia Políticas Nacionales de Sequía en la Región de América Latina y el Caribe (Magalhaes, 2018). La Conferencia fue organizada por la UNCCD, FAO y WMO. A la Conferencia asistieron puntos focales de la Convención en la Región así como representantes de FAO, WMO y el Banco Mundial, además del Gobierno de Bolivia. De acuerdo con los autores, la Región de América Latina y el Caribe es altamente susceptible a la sequía y los impactos severos de este fenómeno son evidentes en todos los países de la Región, desde México, pasando por Centro América, hasta Argentina y Chile. Por otro lado, y a pesar de que la Región tiene una amplia experiencia enfrentando eventos de sequía, sólo dos países (México y Brasil) han avanzado sustantivamente en la adopción de Políticas Nacionales sobre Sequía. Según los autores, los tres pilares de una política nacional para la sequía son: a) sistemas de alerta temprana y monitoreo, b) evaluación de vulnerabilidad e impactos y c) medidas de respuesta y mitigación.

Los estudios reseñados dan cuenta de la importancia sistemática y creciente que la sequía está teniendo como foco de atención en el contexto de los desastres naturales que afectan a la región de América latina y el Caribe.

Todos los aspectos presentados hasta el momento, es decir, aquellos que tienen relación con la evidencia histórica de la vulnerabilidad e impactos que la sequía ha tenido en la Región, así como el desafío que ha implicado el desarrollo de sistemas nacionales que permitan transitar desde la Gestión de la Crisis hacia la Gestión del Riesgo de Sequías, se ven refrendados por los ejemplos de casos nacionales que acompañan el presente documento. Estos ejemplos, que incluyen a países como Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Ecuador, Honduras, Perú, Uruguay o Venezuela, brindan una panorámica retrospectiva respecto de los impactos que la sequía ha tenido en sus respectivos territorios, sus causas potenciales, así como el desarrollo institucional y normativo que sus respectivos países han ido adoptando para contribuir al desarrollo sostenible de sus naciones, en términos de hacer a sus sociedades más resilientes frente a los eventos de sequía extrema. En particular, destacan en los ejemplos analizados, la contribución que herramientas de análisis, como el Atlas de Sequías de ALC, pueden brindar al momento de evaluar el grado de exposición de sus países frente a los periodos de sequía.

En conformidad con lo presentado, el Atlas de Sequías de América latina y el Caribe, tanto en su versión de frecuencia de sequías pasadas como en su versión de monitoreo de sequías en tiempo real, constituye un punto de partida, transversal y complementario, en la adopción de herramientas para la elaboración de planes nacionales de gestión de sequías, especialmente para la Región de América Latina y el Caribe, altamente vulnerable a este fenómeno debido a la extensión de sus tierras secas. A modo de ejemplo, y desde una perspectiva regional, la Figura 1 muestra la distribución espacial en América latina y el Caribe de la sequía centenaria normalizada. Esto es, la precipitación esperada para una sequía tan extrema como aquella esperable que ocurran no más allá de una vez en 100 años en promedio, respecto de la condición normal (aquello que ocurren el 50% de las veces, o año por medio). De acuerdo con el mapa, la diagonal árida de América del Sur, el nordeste de Brasil, noroeste de México, así como la Guajira colombiana muestran las zonas con mayor exposición potencial a la ocurrencia de sequías extremas. ¿Con qué frecuencia se dan otro tipo de eventos de sequía?, ¿Cada cuántos años es esperable que en algún país o zona particular de un país de la Región se presenten sequías equivalentes a un 10 o un 40% de déficit?, ¿Cuál es la precipitación esperable en una determinada región de América latina y el Caribe para un evento de sequía tan extremo como aquella que ocurre, en promedio, una vez cada 100 años?. La sequía que se ha presentado desde inicios del presente año hasta un mes determinado ¿qué tan extrema es?

Es este tipo de preguntas, que pueden considerarse justamente relevantes en el contexto de un sistema de alerta temprana de sequías, que contribuya de manera efectiva a dar cuenta del déficit hídrico actual, sirviendo a su vez como soporte a Planes de Gestión de Sequías y eventualmente, a Políticas Nacionales de

Sequías en el contexto de las recomendaciones de la Reunión de Alto Nivel de Políticas Nacionales sobre la Sequía, en particular, y de la Agenda 2030 de Desarrollo Sostenible y el Marco de Sendai, son las que el presente Documento pretende contribuir a responder.

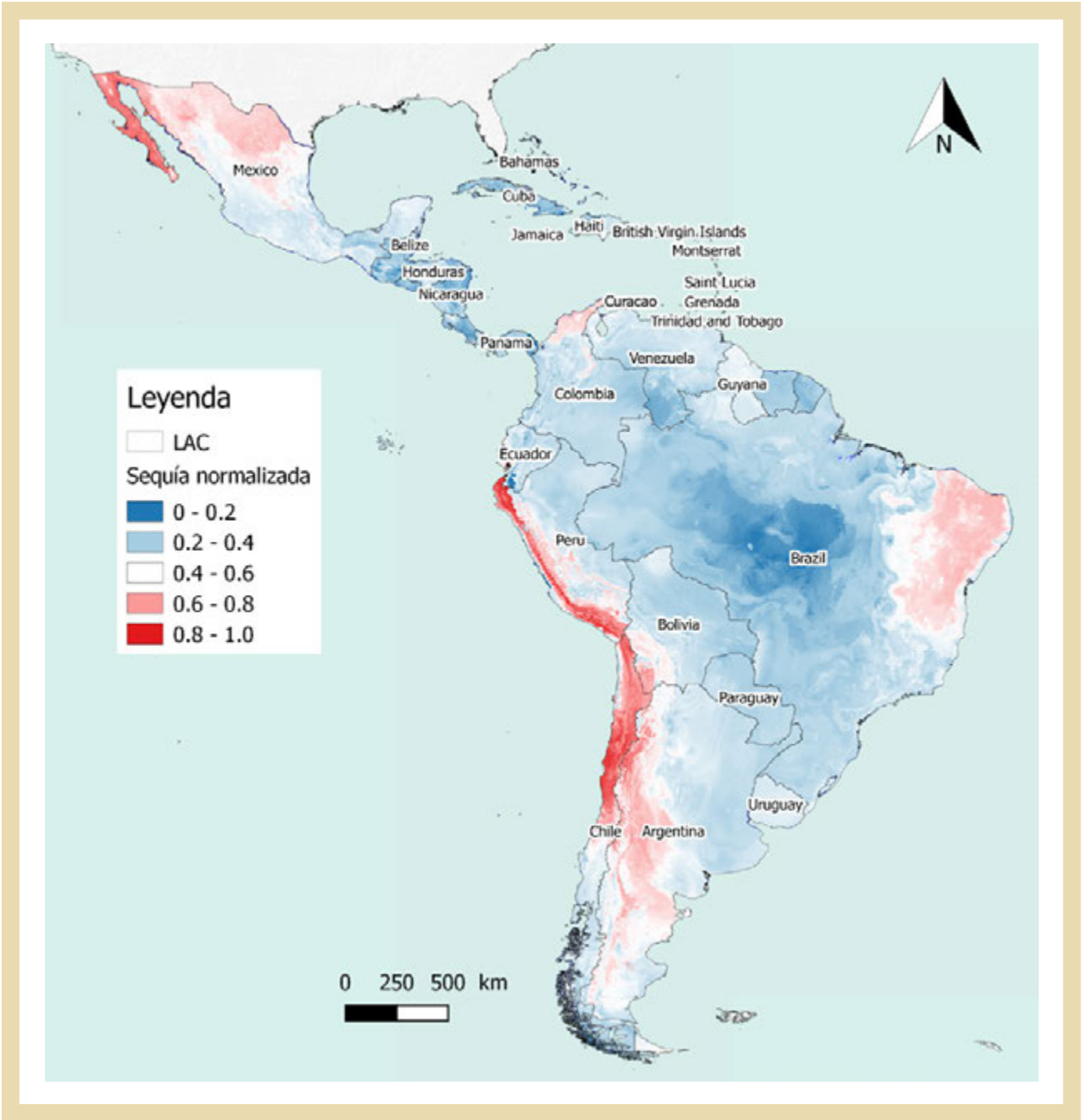


FIGURA 1.

Sequía normalizada en América Latina y el Caribe. La normalización consiste en calcular la diferencia de la precipitación estimada para una sequía de 1 en 100 años respecto de la ocurrida en 1 cada 2 años de recurrencia. Dicha diferencia es luego dividida por la sequía de 1 en 2 años. En teoría, los valores van entre cero (no hay variación) y 1 (variación máxima). A mayor valor, más alta es la diferencia entre la precipitación de un año normal y la de la sequía centenaria con relación a las condiciones normales. Dicha variación puede interpretarse como una medida de exposición a una alta recurrencia de eventos de sequías severas.

Ejemplos desde la Región de **América Latina y el Caribe**

ARGENTINA	pág. 19
BOLIVIA	pág. 29
BRASIL	pág. 43
CHILE	pág. 55
COLOMBIA	pág. 71
ECUADOR	pág. 89
HONDURAS	pág. 97
PERÚ	pág. 107
URUGUAY	pág. 119
VENEZUELA	pág. 127

© Pixabay/Moritz Rakutt, CCo Creative Commons

ARGENTINA

AUTORES

Andrés C. Ravelo[1], Roberto E. Zanvettor[1], Pedro E. C. Boletta[1] y Sofía S. Sánchez[1]

[1]Centro de Relevamiento y Evaluación de Recursos Agrícolas y Naturales (CREAN) – UNC.

© Pixabay/Auluz Auluz, CCo Creative Commons

Introducción

EN ARGENTINA, LA OCURRENCIA DE SEQUÍAS SE REGISTRA EN TODO EL TERRITORIO nacional y con recurrencia e intensidad variables. Estos eventos causan pérdidas económicas significativas, disrupciones en los procesos industriales e importantes alteraciones en las actividades sociales.

El monitoreo, evaluación y pronóstico de las sequías ha sido uno de los principales ejes de investigación y extensión en los ámbitos académicos del país (CREAN, 2018). Actualmente se están desarrollando metodologías para reducir la vulnerabilidad y el riesgo, en particular para aquellas áreas y sectores sociales más sensibles al evento. Por su parte, el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) en el marco de la Estrategia Internacional de Reducción de Desastres (EIRD) ha comprometido sus mejores esfuerzos en contribuir a mejorar las capacidades de gestión del riesgo de desastres en el cual se incluyen a las sequías a nivel nacional y local. En ese marco, el proyecto PNUD/ARG/05/020 "Programa Nacional de Prevención y Reducción de Riesgos y Desastres y Desarrollo Territorial - RRD", ejecutado con la Subsecretaria de Planificación Territorial del Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios tiene por objetivo promover la inserción de la reducción del riesgo de desastres en las políticas de desarrollo y ordenamiento territorial en todos los niveles del Estado a través de la sensibilización y capacitación de actores clave, incluyendo el análisis del riesgo como dimensión de referencia en la planificación y la evaluación de proyectos de inversión pública. El programa está co-coordinado por la Comisión Cascos Blancos, del Ministerio de Relaciones Exteriores y Culto, y la Secretaría de Protección Civil y Abordaje Integral de Emergencias y Catástrofes del Ministerio de Seguridad. Cabe señalar que Argentina presidió el Grupo de Apoyo a la EIRD durante el período 2007-2009, y ha sido uno de los países seleccionados para informar sus avances en la página oficial de la EIRD.

El objetivo primordial de un programa para la reducción de riesgos y desastres es contribuir al aumento de la resiliencia del país ante los desastres, para el bien del desarrollo sostenible, mediante la consecución de los siguientes objetivos principales:

- Fungir como mecanismo de coordinación para intensificar la colaboración y la coordinación multisectorial para lograr la sostenibilidad de las actividades para la RRD mediante un proceso consultivo y participativo, en concordancia con la implementación del Marco de Sendai 2015-2030.
- Fomentar un entorno que posibilite el desarrollo de una cultura de prevención, mediante la promoción y el incremento de la concientización existente en torno a la RRD, al igual que sobre la necesidad y la importancia de integrarla en las políticas, la planificación y los programas de desarrollo; y
- Facilitar la integración de la RRD en las políticas, la planificación y los programas nacionales de varios sectores del desarrollo, al igual que en las políticas y los programas internacionales o bilaterales de asistencia para el desarrollo.

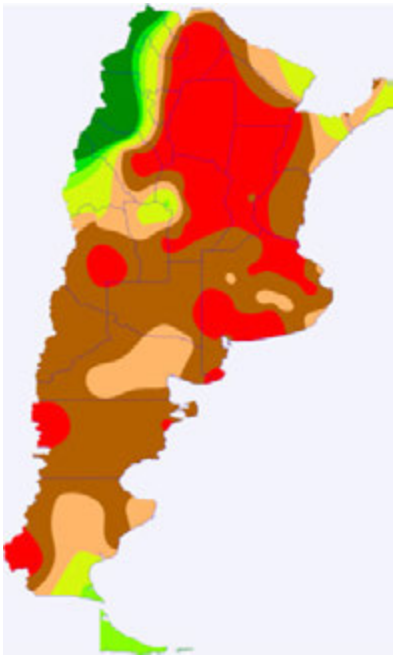
LA OCURRENCIA DE EVENTOS DE SEQUÍA EN ARGENTINA

En la región pampeana argentina se han registrado sequías intensas desde el siglo pasado, comenzando en la campaña 1910/11 hasta nuestros días (Minetti, *et al.*, 2007; Scarpati y Capriolo, 2016; Zanvettor y Ravelo, 2000).

El Centro de Relevamiento y Evaluación de Recursos Agrícolas y Naturales (CREAN) comienza a realizar el seguimiento y posterior validación de sequías a nivel nacional a partir del año 1980 mediante el índice de Palmer (1965) (PDSI), el índice estandarizado de precipitación (SPI) de McKee *et al.*, (1993 y 1995) y sistemas de información geográfica que permiten realizar un seguimiento sistemático de las sequías en Argentina.

En el análisis de los archivos históricos del índice de Palmer se puede apreciar la variabilidad de las sequías extremas ocurridas en los años 1988/1989; diciembre 1995; (1997/98) No se ve sequías extremas) 1999; 2008/ 2009; 2011/2012 y 2017/2018 por la ocurrencia de sequías severas en color marrón oscuro y extremas con un índice de PDSI< -4, en color rojo. El PDSI permite evaluar los períodos secos y húmedos, la variabilidad mensual y la tendencia de los extremos hídricos en una serie histórica de años.

La Figura 2 presenta la ocurrencia de las sequías severas y extremas ocurridas en Argentina en enero de 1989. Se pueden identificar las áreas o regiones donde se produjeron los eventos extremos de sequías las cuales cubren casi la totalidad del territorio, con deficiencias hídricas marcadas que se extendieron a las provincias de Córdoba, Santa Fe, Entre Ríos, Chaco, Santiago del Estero, Buenos Aires, La Pampa, Mendoza y Chubut.



REFERENCIAS

-2.00 o superior	Sequía extrema
-1.50 a -2.00	Sequía severa
-1.00 a -1.50	Sequía moderada
0.50 a -0.50	Normal
1.00 a 1.50	Humedad moderada
1.50 a 2.00	Humedad excesiva
2.00 o superior	Humedad extrema

FIGURA 2.

Índice de Palmer (PDSI) para enero de 1989 señalando la ocurrencia de sequías extremas en color rojo y severas en color marrón.

En diciembre de 1995, se aprecia la ocurrencia de sequías severas y extremas (Figura 3). Excepto por la región patagónica y la zona cordillerana, el resto del país registró eventos extremos de sequías con deficiencia hídrica marcada que se extendió a varias provincias desde el norte de Córdoba, norte de Santa Fe, sur de Chaco y parte de Formosa, Santiago del Estero, Tucumán, Salta, Jujuy, La Pampa y la parte central de Buenos Aires. Rotondo y Seiler (2002) estimaron las reducciones en la productividad de varios cultivos en la provincia de Córdoba durante 1995/96 señalando pérdidas del orden de los 2 millones de toneladas de granos de soja, maíz, maní y girasol.

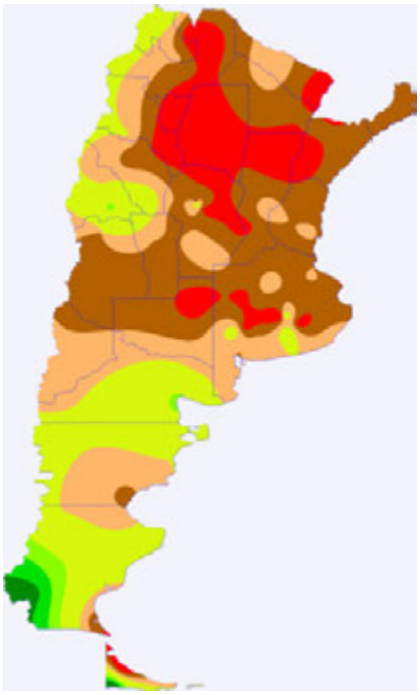


FIGURA 3.

Sequías extremas y severas (color rojo y marrón) en diciembre de 1995.

Más recientemente, en enero de 2009 (Figura 4) se puede identificar dónde y cuándo se produjeron los eventos extremos de sequías. En el mapa quedan delimitadas amplias áreas del centro, norte y sur del país, con deficiencia hídrica, que se extendió a las provincias de Formosa, Chaco, Santiago del Estero, Córdoba, Santa Fe, Entre Ríos, Buenos Aires, La Pampa, porción este de Chubut y oeste Santa Cruz en la Patagonia.

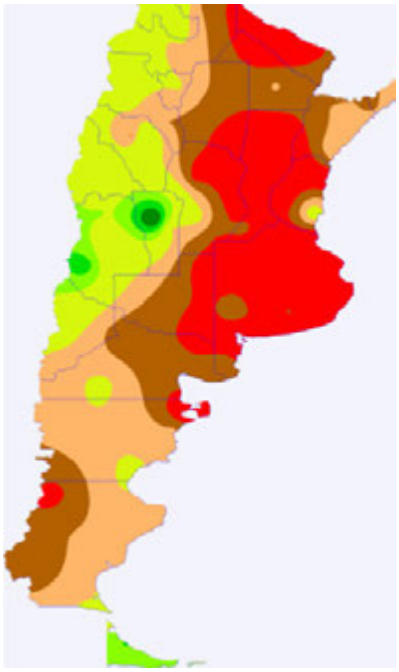


FIGURA 4.

Ocurrencia de sequías extremas y severas (color rojo y marrón) en enero 2009.

Las pérdidas económicas por la sequía de 2008/2009 en las provincias de Buenos Aires, Córdoba y Santa Fe, totalizaron 595 millones de dólares en las actividades agropecuarias.

Las pérdidas económicas por reducción de los rendimientos en cultivos han sido documentadas por diferentes autores. Ravelo *et al.,* (2012 y 2014) identificaron pérdidas de producción por sequías en soja, maíz y sorgo en el departamento Marcos Juárez, Córdoba. Seiler *et al.,* (2012) realizaron un análisis agro-económico del efecto de las sequías en empresas agrícolas en los departamentos Río Cuarto y Marcos Juárez de la provincia de Córdoba.

A consecuencias de la sequía ocurrida durante el período 2008-2009 en el sur de la provincia de Buenos Aires (una de las zonas más afectadas) se tomaron medidas jurídico-institucionales y políticas tendientes a la capacitación en el uso del territorio. Se realizó la declaración de emergencia agropecuaria en los partidos de Villarino y Patagones durante el período enero-diciembre de 2008. Asimismo, se implementaron planes, proyectos y cursos para la capacitación de los productores en diversos temas: implantación de pasturas, uso sustentable del agua y del suelo, rotación de cultivos y riego por gravedad. Todos estos proyectos tuvieron como objetivo mitigar las consecuencias de la sequía 2008-2009.

La Figura 5 presenta la evolución de las sequías severas y extremas en Argentina en los meses de febrero, marzo y abril de 2018. Si bien hay cierta variabilidad geográfica, la zona centro presenta la mayor persistencia del evento. Las provincias mayormente afectadas fueron Córdoba, Santiago del Estero, Santa Fe, Buenos Aires y La Pampa.

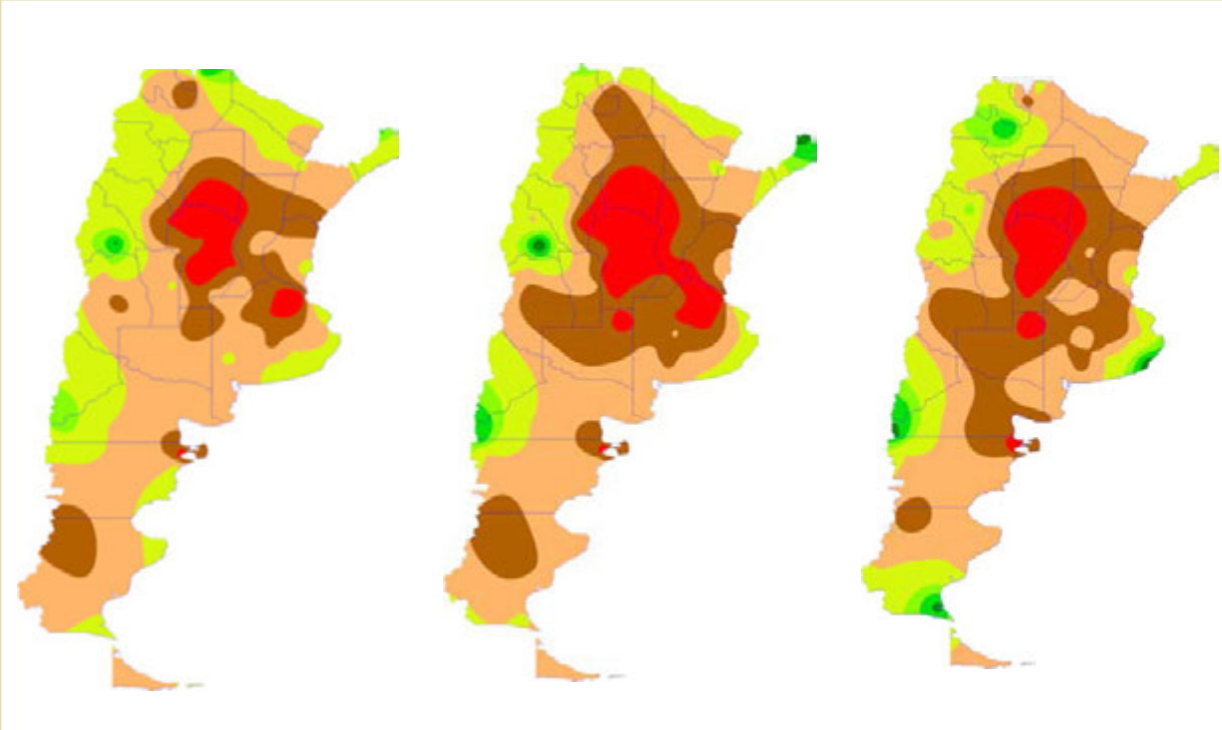


FIGURA 5.

Evaluación de las sequías extremas y severas (color rojo y marrón) para febrero, marzo y abril 2018.

LOS IMPACTOS DE LA SEQUÍA EN LOS DIFERENTES SECTORES DE ARGENTINA

Argentina es un país con grandes extensiones de su territorio dedicadas a las explotaciones agropecuarias y sujeto a adversidades climáticas, en particular a los extremos hídricos como son las sequías e inundaciones (Zanvettor *et al.*, 2017). El sector agropecuario representa el 10,4% del Producto Interno Bruto (PIB), la cosecha anual de granos asciende estimativamente a US$ 27.000 millones anuales y las exportaciones agroindustriales concentran el 60% de las exportaciones totales.

Los excesos hídricos, algunas veces conducentes a inundaciones, generan una mayor atención en los medios periodísticos; sin embargo, son los eventos de sequías los mayores causantes de pérdidas económicas en las actividades agropecuarias. Por ejemplo, en la campaña 2016/17, las pérdidas proyectadas de ingreso directo generadas por las inundaciones en el cultivo de soja ascienden a u$s 354,4 millones, mientras que en las campañas 2008/09 y 2011/12, las pérdidas estimadas de ingreso directo por sequía en el cultivo de soja ascienden a US$ 4.115,88 millones y US$ 2.606,37 millones, respectivamente (Bolsa de Cereales de Córdoba, 2016; Thomasz *et al.*, 2017).

Los daños de las sequías o falta de agua pueden evaluarse a través de las pérdidas directas de productividad de los cultivos regionales. El marco legal para prevenir y mitigar los impactos producidos por estos fenómenos climáticos a nivel nacional, está dado por la Ley 26.509, reglamentada por Decreto 1712/2009. Esta ley determina que un evento climático será catástrofe o emergencia de acuerdo con el porcentaje de pérdida generado en el campo productivo. Si la pérdida del siniestro es mayor al 50% la misma se considera emergencia y si la pérdida del siniestro se encuentra por encima del 80% se considera catástrofe agrícola. Del relevamiento de todas las emergencias agropecuarias declaradas desde el inicio de la Ley hasta fines de mayo de 2012 el primer factor climático por mayor frecuencia de apariciones es la sequía seguido por las inundaciones y luego granizo. Esto se debe a la ocurrencia de dos eventos La Niña que se sucedieron consecutivamente, uno en la campaña 2008-2009 y el segundo en la campaña 2011-2012 (Casparri *et al.*, 2014).

Cuando se analizan las herramientas para gestión de riesgos climáticos, los seguros agrícolas más utilizados son aquellos contra granizo, pero los riesgos emergentes del cambio climático, sequías e inundaciones no son cubiertos por los seguros contra granizo sino que son cubiertos mediante los seguros multi-riesgo. Las coberturas de seguros multi-riesgo poseen primas muy costosas a las cuales los productores de pequeña escala no pueden acceder. Debido a la sequía de la campaña 2011-2012, muchos de los pequeños productores debieron abandonar la actividad agropecuaria.

Por otro lado, la sequía es un factor determinante de la ocurrencia de incendios forestales (Keetch y Byram 1968; Balling *et al.*, 1992; Hall y Brown, 2003). Los centros de investigación en Patagonia presentan los mayores avances en el estudio de la asociación de ambos eventos. En 1998 y principios de 1999 en la Patagonia, se registró una sequía severa debido a un episodio La Niña, con precipitaciones 60% menores a la media histórica (Suárez *et al*., 2004). Como consecuencia, en el verano de 1999 se produjeron grandes incendios, uno de los cuales afectó más de 13 mil hectáreas de pastizales y matorrales, y otro de unas 4.000 ha de matorrales mixtos y bosques de *Nothofagus pumilio*, *Nothofagus dombeyi* y *Austrocedrus chilensis* en el Parque Nacional Nahuel Huapi (Ghermandi y de Torres Curth, 2005). Para la provincia de Córdoba, una de las más afectadas por estos eventos también se ha encontrado correlación positiva entre la superficie quemada y los períodos secos.

LA FRECUENCIA DE SEQUÍAS EXTREMAS EN ARGENTINA

El 69% del territorio argentino se considera como zona árida (UNESCO, 2010), con un régimen hídrico que va de xérico a subhúmedo y en parte, pertenecen a áreas de alto valor productivo. Las sequías son una de las principales adversidades que afectan en forma recurrente y con extrema severidad a las regiones destinadas a la actividad agropecuaria en Argentina. Las precipitaciones en la región pampeana semiárida presentan una alta variabilidad en los valores anuales y mensuales y una amplia variación en la distribución del área. La distribución anual de la precipitación representa dos estaciones diferentes: la temporada de lluvias en verano, de octubre a marzo, y la temporada seca de invierno, de abril a septiembre (Scian *et al,* 1997). Por otro lado, Minetti *et al.*, (2003) indicaron la existencia de fluctuaciones inter-decadales con oscilaciones de 18-26 años y promedios móviles de once años de las precipitaciones promedio en algunas regiones del país. En la región pampeana, se han observado serios fenómenos de sequías ocasionados por escasas precipitaciones como mencionan Ravelo *et al.*, (1999), Forte *et al.*, (2008), Botana *et al.*, (2009) y Vicario *et al.*, (2015). Al respecto, Minetti *et al.*, (2010) encontraron que su principal causa

© Pixabay/Joaquín Aranda, CCo Creative Commons

está condicionada por la actividad del anticiclón del océano Atlántico y su interacción con la depresión continental en la pampa húmeda. Sin embargo, Vicario *et al.*, (2015) sugieren que si bien los fenómenos de La Niña podría ser una causa de la escasez de lluvias, la determinación de las características de los periodos de sequía sería más complejo. El conocimiento respecto de la frecuencia de estos eventos, también llamado intervalo de recurrencia medio, así como el periodo de retorno de un determinado evento— un término hidrológico que expresa cada cuantos años, en promedio, ocurre determinado evento de sequía— constituyen insumos básicos para de un sistema de gestión de riesgos de sequía, en particular, y de gestión del riesgo de desastres, en general.

Lo anterior queda de manifiesto en mapas específicos generados por el Atlas de Frecuencia de Sequías de América Latina y el Caribe, para el caso de Argentina. La Figura 6a, por ejemplo, muestra los montos anuales de precipitación esperada para una sequía considerada leve —aquella que ocurre una vez cada dos años. Se destaca una extensa área que abarca desde el norte a la provincia de Salta (200 mm aproximadamente) hasta la región patagónica con 100 a 200 mm de precipitación. Para una sequía considerada extrema, en cambio, la Figura 6b equivalente a aquella que ocurre en promedio una vez en 100 años. El área señalada anteriormente se ha extendido considerablemente cubriendo un 90% del territorio nacional. La precipitación asociada varía entre los 50 y 700 mm, donde sólo la región litoral supera los 800 mm. Cuando el interés se centra en el Periodo de Retorno, en cambio, el Atlas muestra que mientras sequías leves—equivalentes a un 10% de déficit respecto de la precipitación media anual (Figura 6c)— tienen periodos de retorno entre 1,2 y 2,4 años, aquellas correspondientes a un 40% de déficit presentan periodos de retorno en torno a los 10 años en la zona norte pero superiores incluso a 100 años en la zona este y en algunas zonas bien delimitadas superan los 500 años (Figura 6d). Lo anterior da cuenta de una importante variabilidad espacial de la dimensión de exposición de la vulnerabilidad a los eventos de sequía en el país así como del rol que una herramienta como el Atlas de Frecuencia de Sequías puede tener para el análisis.

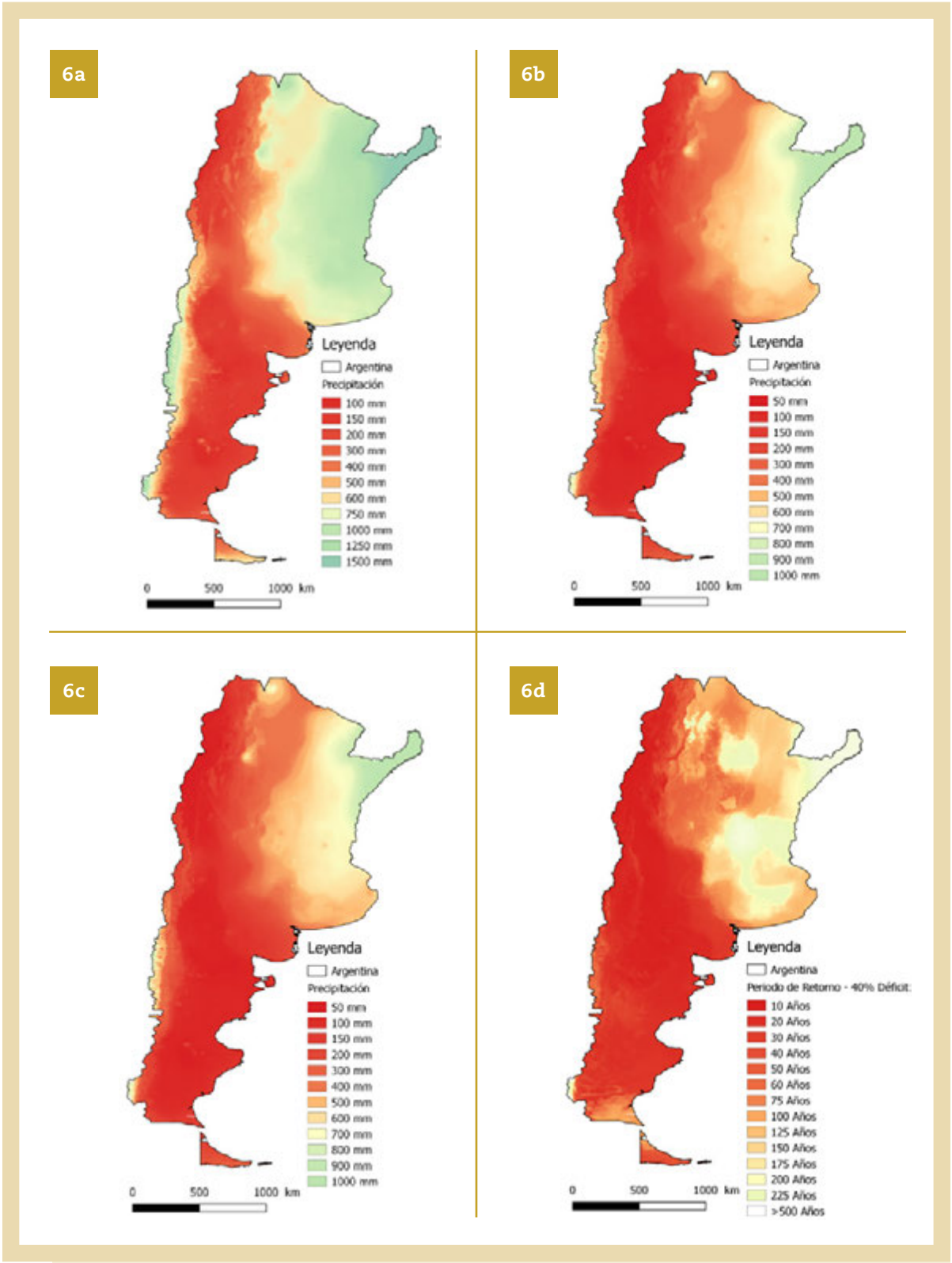


FIGURA 6.

Mapas de precipitación anual esperada para una sequía esperada en a) 1 en 2 años y b) 1 en 100 años. Mapas de periodo de retorno para una sequía equivalente a un c) 10% de déficit y d) 40% de déficit.

LA GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES POR SEQUÍA EN ARGENTINA

A lo largo de la historia, el manejo de los desastres de origen natural ha estado enfocado prioritariamente hacia la atención de la emergencia agropecuaria durante y post desastre a través de planes y programas de ayuda pública a los afectados. Sin embargo, este paradigma ha ido evolucionando hacia un mayor énfasis en la prevención y la gestión del riesgo.

En al ámbito del Gobierno Nacional, los actores oficiales en la gestión de emergencias son el Ministerio de Seguridad, la Secretaría de Protección Civil y Abordaje Integral de Emergencias y Catástrofes y la Subsecretaría de Reducción del Riesgo de Desastres a través del Consejo Nacional para la Gestión Integral del Riesgo y la Protección Civil (Figura 7). La Ley 27.287, sancionada en 2016, que crea el Sistema Nacional para la Reducción del Riesgo de Desastres y la Protección Civil (SINAGIR), materializa los esfuerzos y consensos necesarios para que el Estado pueda diseñar una política de reducción del riesgo de desastres y protección civil centrada en un marco normativo moderno, que represente el cambio de paradigma que comenzó a desarrollarse en el mundo a partir de la elaboración de los marcos de acción de Hyogo 2005-2015 y de Sendai 2015-2030. El Plan Nacional para la Reducción del Riesgo de Desastres, PNRRD 2018-2023 es el primer documento de alcance nacional en la materia, que permite proyectar una estrategia a corto, mediano y largo plazo coherente con la nueva normativa que regula actualmente la gestión del riesgo en la Argentina (SINAGIR) y con el Marco de Sendai 2015-2030. EL PNRRD constituye una moderna herramienta de política pública que define los lineamientos generales sobre los que se orientarán los objetivos y metas tendientes a mitigar el riesgo de desastres en la Argentina (www.cascosblancos.gob.ar).

© Pixabay/U. Leone, CCo Creative Commons

Por otro lado, en el plano de la asistencia durante emergencias climáticas, otro actor estatal fundamental es el Ministerio de Agroindustria, a través de la dirección Nacional de Emergencia y Desastres Agropecuarios (Ley 26.509), que es el mecanismo regulador de la tipificación legal de la emergencia. Esta ley determina que un evento climático será catástrofe o emergencia de acuerdo con el porcentaje de pérdida generado en el campo productivo. Si la pérdida del siniestro es mayor al 50% la misma se considera emergencia y si la pérdida del siniestro se encuentra por encima del 80% se considera catástrofe agrícola. De esta manera, conforme a la recomendación emitida por la Comisión Nacional de Emergencias y Desastres Agropecuarios (CNEyDA), el Gobierno Nacional declara el estado de emergencia y/o desastre agropecuario para las provincias involucradas.

Algunos de los beneficios impositivos que contemplan la Ley de Emergencia agropecuaria nacional son: el diferimiento del vencimiento general

de las obligaciones impositivas de pago de las declaraciones juradas y/o anticipos del impuesto a las ganancias, sobre los bienes personales, a la ganancia mínima presunta y el fondo para educación y promoción cooperativa; suspensión del término corrido de prescripción y caducidad de instancia; deducción del impuesto a las ganancias por venta forzosa de hacienda y Plan de Facilidades Permanente para contribuyentes alcanzados por la emergencia y/o desastre agropecuario en aportes de la seguridad social y en contribuciones patronales e IVA; y beneficios bancarios a través del Banco de la Nación como la espera de vencimientos desde la declaración de emergencia hasta la finalización del ciclo productivo, entre otras medidas (www.agroindustria.gob.ar).

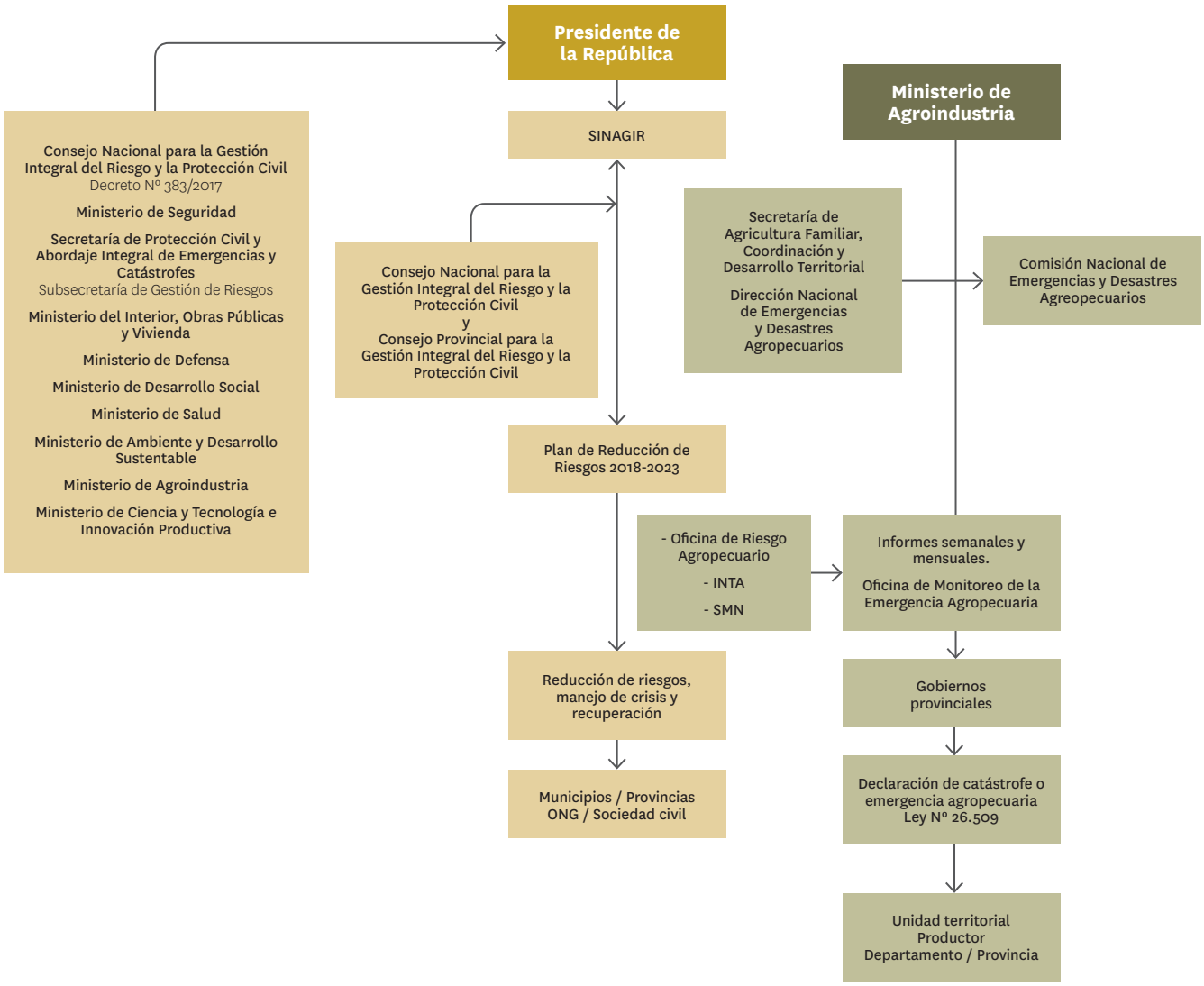


FIGURA 7.

Paisaje institucional para la reducción del riesgo de desastres, incluyendo a las sequías en Argentina

BOLIVIA

AUTORES

Magali GARCIA[1],[2] y Gavi ALAVI[2]

[1] Universidad Mayor de San Andrés. Instituto de Investigación en Procesos Químicos y Ambientales. Facultad de Ingeniería.

[2] Consultora Drought Initiative, UNCCD

© Pixabay/sgrunden, CCo Creative Commons

Introducción

EN SU CALIDAD DE PAÍS ANDINO, BOLIVIA ENFRENTA EPISODIOS RECURRENTES DE poca o excesiva precipitación debido a factores fisiográficos generales, entre los que se pueden citar:

1. Gran parte de su territorio se encuentra afectado por la presencia de la Cordillera de Los Andes, que se constituye en una barrera física para el ingreso de masas de aire húmedo, muy importante para la ocurrencia, distribución y oportunidad de la precipitación.
2. Las dos cordilleras (la occidental y la oriental o real) subdividen al país en seis principales regiones naturales: cordillera occidental, cordillera real, altiplano, sub andina, llanura Chaco y el escudo brasileño, las cuales son extraordinariamente diversas.
3. El territorio boliviano se encuentra situado en el centro del subcontinente americano y depende de la dinámica de grandes sistemas atmosféricos globales que, incluso si ocurren a grandes distancias, determinan la cantidad y la variabilidad de la precipitación recibida, entre ellos la corriente ENSO, la Oscilación Decadal del Pacífico, las Zonas de Convergencia que influyen en Sud América, los fuertes anticiclones del Hemisferio Sur, etc.
4. La dinámica atmosférica también determina la estacionalidad pluviométrica de gran parte del territorio boliviano, pues la precipitación se concentra típicamente en más o menos 6 meses de ocurrencia, enfrentando el resto del año periodos secos.
5. Su latitud tropical determina una gran recepción de radiación solar todo el año, lo cual provoca dinámicas energéticas muy intensas que, combinadas con la heterogeneidad local, provoca que la ocurrencia de eventos termo-pluviométricos extremos sea altamente variable y local.

De esta manera, los diferentes sectores geográficos del país se encuentran frecuentemente sujetos a múltiples fenómenos climáticos de los cuales, la sequía es parte en casi todo el territorio nacional. A su vez, estos fenómenos ocasionan una amenaza específica para cada región, con los que su población tiene cierta recurrencia y hábito de enfrentarse, pero que no se producen de forma homogénea en el territorio, sino que muchas veces los Gobiernos Nacionales y locales, deben gestionar acciones para responder a sequías e inundaciones en forma simultánea, lo cual incrementa su vulnerabilidad. Esta diversidad provoca que, sin una estrategia de respuesta coordinada, la reacción ante emergencias y desastres sea desarticulada, poco eficiente y lleve a sobre o sub estimaciones de los impactos y pérdidas reales.

La variabilidad pluviométrica intrínseca del territorio boliviano se ve incrementada por la ocurrencia del Calentamiento Global. En periodos secos, las temperaturas más elevadas provocan mayor demanda atmosférica de vapor de agua, intensificando el efecto de la escasez hídrica; por otra parte, el aire más caliente puede almacenar mayor cantidad de vapor de agua, la que al precipitar posteriormente en forma

de lluvia, incrementa la frecuencia de tormentas de alta agresividad que caen sobre terrenos secos, generalmente sin protección, provocando deslaves y arrastres de sedimentos con el riesgo consecuente para las poblaciones afectadas.

Específicamente, la sequía se constituye en un evento extremo de compleja identificación y que presenta diferentes impactos en Bolivia, en función del sector al cual afecta. El escenario más común es que bajo las mismas tasas de precipitación y demanda atmosférica, ocurren eventos de mucha importancia a nivel agrícola, pero que no afectan significativamente a las actividades urbanas, lo que retrasa la atención al problema. Sin embargo, en las últimas décadas, se reconoce que los niveles de crecimiento urbano, especialmente por elevada migración del área rural y los cambios atmosféricos de escala global, han provocado impactos también en la población urbana y el ecosistema bolivianos, que ameritan un análisis de acciones más planificadas, con propuestas anteladas al evento y no restringidas a la crisis, dentro de las cuales el monitoreo y el conocimiento de las condiciones climáticas es determinante. Bajo este concepto, Bolivia pretende cambiar el paradigma de gestión de la crisis que solo aborda los síntomas de la sequía hacia la gestión del riesgo.

LA OCURRENCIA DE EVENTOS DE SEQUÍA EN BOLIVIA

Puesto que en general se ha hecho hincapié en la gestión de crisis, por lo general en Bolivia se ha pasado de un episodio de sequía a otro con poca o ninguna reducción de los riesgos. De esta manera, con frecuencia muchas regiones con alta probabilidad de sequía, enfrentaron otro episodio antes de haberse recuperado del episodio anterior. Si la frecuencia de sequías aumenta en el futuro, y bajo un escenario de mayor demanda atmosférica por mayores temperaturas, en muchas regiones habrá menos tiempo de recuperación entre episodios. Esto se evidencia en el siguiente gráfico que muestra la ocurrencia de reportes de sequía desde 1970 a 2010

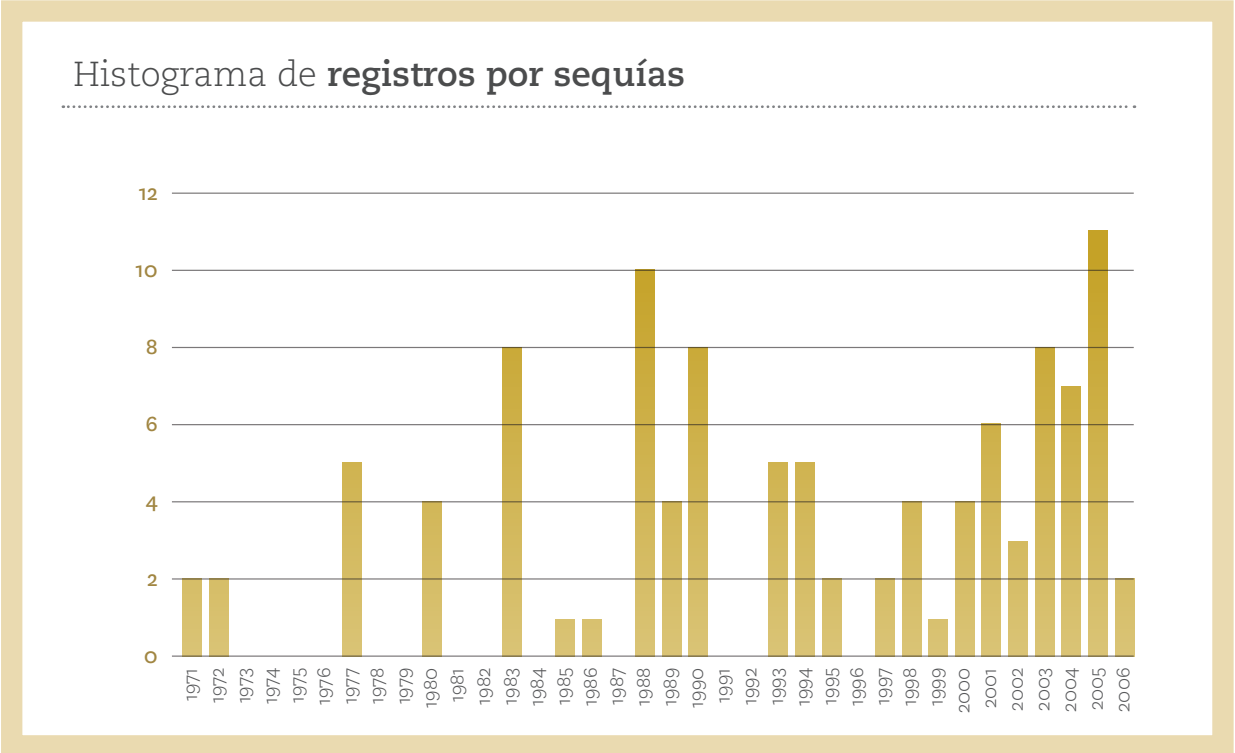


FIGURA 8.

Número de registros de sequías reportados en el portal desinventar.org (1970-2010)

El número de eventos severos de sequía que fueron reportados ha ido en aumento (Figura 8), destacando la influencia en estos reportes de la presencia del evento Niño de 1983, el de 1987-1989 así como un alto número de reportes entre 2000 y 2005. El último evento serio que afectó masivamente a Bolivia fue el registrado desde mediados de 2015, que se extendió hasta inicios de 2017.

Los indicadores comúnmente usados para medir la intensidad, duración y magnitud de la sequía son el Índice de Precipitación Estandarizada (IPE) (McKee *et al.*, 1993) y el Standardized Precipitation and Evapotranspiration Index (SPEI) (Vicente-Serrano *et al.*, 2010, 2012). Este último, es el utilizado por el Servicio Meteorológico Nacional de Bolivia para monitorear la sequía. En la Figura 9, se presenta la evolución del SPEI desde 1950 a la fecha, para el Altiplano Central Boliviano[1] para un periodo de acumulación móvil de 9 meses de precipitación. Se aprecia la importancia de los eventos de 1983, 1987, 1993, 1998 y el reciente episodio fuerte de 2016; en todos ello, los valores del SPEI alcanzaron sus mínimos.

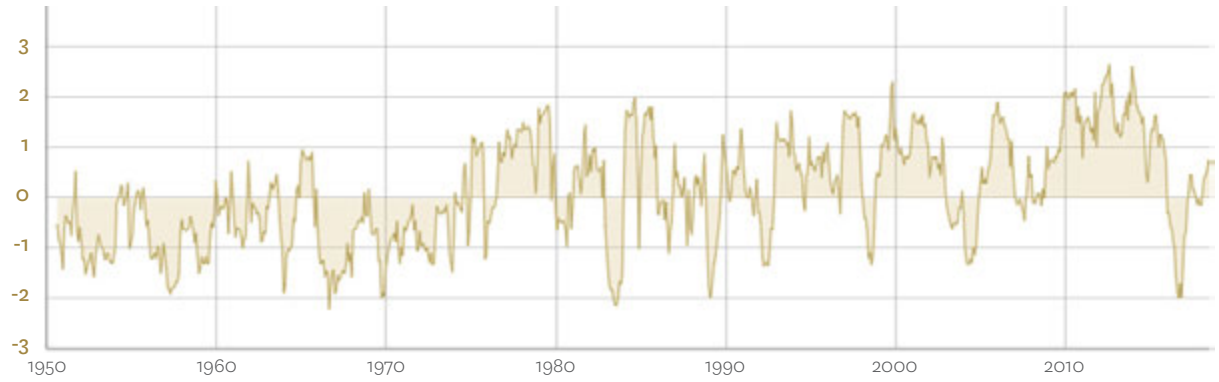


FIGURA 9.

Valores mensuales del SPEI que permite evaluar duración e intensidad de la sequía en los últimos 70 años para el Altiplano Central de Bolivia.

Sin embargo, también se aprecia que la variabilidad y tendencia de la sequía estimada mediante el SPEI no se corresponde necesariamente con las tendencias presentadas en la Figura 8. Esto podría deberse a que: a) los eventos de sequía se presentan con una distribución espacial muy heterogéneamente, por lo que la Figura 9 no muestra los eventos en todo el país; o b) la vulnerabilidad de la población boliviana ha aumentado en forma no paralela a la amenaza, por lo que eventos similares a los de anteriores décadas, provocaron más emergencias en las últimas décadas. En cualquier caso, se demuestra que el monitoreo espacializado de la sequía es de mucha importancia para comprender la dinámica de la sequía, más allá de los promedios, especialmente en un país altamente heterogéneo como Bolivia.

Respecto de la dinámica atmosférica que provoca la sequía, existen varios estudios que describen la pluviometría en Sud América y dentro de ella en Bolivia. Por ejemplo, Mendonca (2017) realizó un análisis de la integración de la circulación amazónica y altiplánica que vincula al centro del continente sudamericano con los Andes centrales. En este análisis se muestra que el movimiento regular de masas de aire de la Amazonia puede alcanzar hasta el altiplano en el verano, respondiendo a los factores que activan al monzón sudamericano en esa época, los que incluyen a la convección termal, la posición de la alta de Bolivia, el desplazamiento de la Corriente de Chorro Subtropical y la baja del Chaco, todo ello

1 Descargado de http://spei.csic.es/

acoplado con los eventos ENSO, la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO) y la Convergencia Antártica. Destaca la extrema variabilidad interanual de las precipitaciones en Bolivia, especialmente en el Oeste, donde se producen años significativamente secos, combinados con otros que sobrepasan las expectativas y probabilidades de un año húmedo. En esta zona existe una relación entre las anomalías de los vientos locales y el comportamiento del Océano Pacífico. Los vientos del nivel superior son parte de la amplitud de la respuesta atmosférica al patrón espacial de la temperatura superficial del mar (TSM) en el Pacífico Tropical y proporcionan la conexión física entre la forzante oceánica y el clima de los Andes centrales. Garreaud, Vuille y Clement (2003) describen una influencia significativa de la corriente ENSO en la precipitación registrada en la época de lluvias en Bolivia, que es resultado de la gradiente de presión entre las latitudes tropicales y subtropicales del sur. En un evento Niña en que se produce el enfriamiento del Pacífico tropical, el estrechamiento de la tropósfera tropical induce un aumento en el flujo del este hacia el Altiplano, debido a las diferencias de presión y temperatura entre latitudes tropicales y subtropicales, patrón inverso al que se presenta en veranos secos o muy secos (Niño) (Garreud, Vuille y Clement, 2003). Por otra parte, Marengo *et al*., (2004) describen la dinámica pluviométrica en el Este sudamericano, mostrando que la Corriente de Chorro de baja altitud de Sud América es la responsable de transportar aire húmedo desde la Amazonía hasta el Norte de Argentina, siguiendo la línea de la Cordillera de los Andes. Esta corriente parece fortalecerse en años Niño y debilitarse en años Niña, aunque sin gran significancia estadística. En un estudio más descriptivo, Seiler *et al*. (2013) analizaron la influencia del ENSO, PDO y la Oscilación Antártica sobre la precipitación en las diferentes regiones de Bolivia. Encontraron que el evento Niño presenta correlaciones significativas con menores precipitaciones en las laderas del Norte de los Andes (NAS) y en el Altiplano (AP), mientras que la PDO positiva provoca mayores precipitaciones en los

© Pixabay/bewareofdragonsuk, CCo Creative Commons

Llanos. El evento Niña solo muestra una influencia estadísticamente significativa sobre la lluvia recibida en los Llanos de Norte, mientras que, en las otras zonas, se presenta mucha dispersión en los registros (Figura 10). En conclusión, los autores demostraron que la presencia de la sequía es muy errática, sobre la cual los grandes sistemas atmosféricos tienen alguna influencia sin ser altamente significativa.

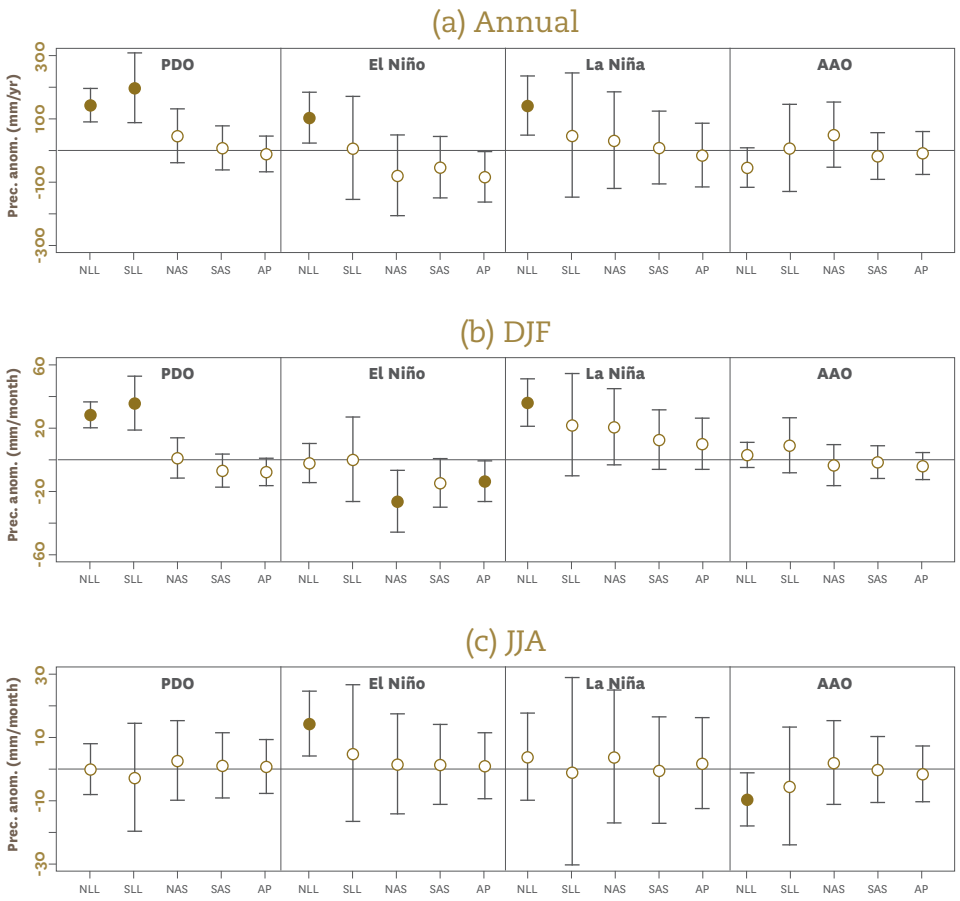


FIGURA 10.

Diferencias en (a) anomalías anuales de precipitación (mm por año) y anomalías mensuales de precipitación (mm por mes) de (b) DJF y (c) JJA, comparando PDO (+) con PDO (-), eventos El Niño con años neutrales, eventos La Niña con años neutrales, y AAO (+) con AAO (-) para las tierra bajas del norte (NLL), tierras bajas del sur (SLL), laderas al norte de los Andes (NAS), laderas al sur de los Andes (SAS) y Altiplano (AP). Los puntos representan las diferencias de las medias, mientras que la barras muestran los correspondientes intervalos de confianza con una probabilidad del 95%. Los puntos negros denotan los cambios estadísticamente significativos con un nivel de significancia del 5%.

LOS IMPACTOS DE LA SEQUÍA EN LOS DIFERENTES SECTORES DE BOLIVIA

La Figura 11 muestra los eventos dañinos más importantes en línea de tiempo desde 1982 hasta 2011, incluyendo el evento que causó más daño en el año citado. Los eventos de sequía se presentan en forma recurrente pero no a lapsos constantes, ratificando su cualidad poco previsible.

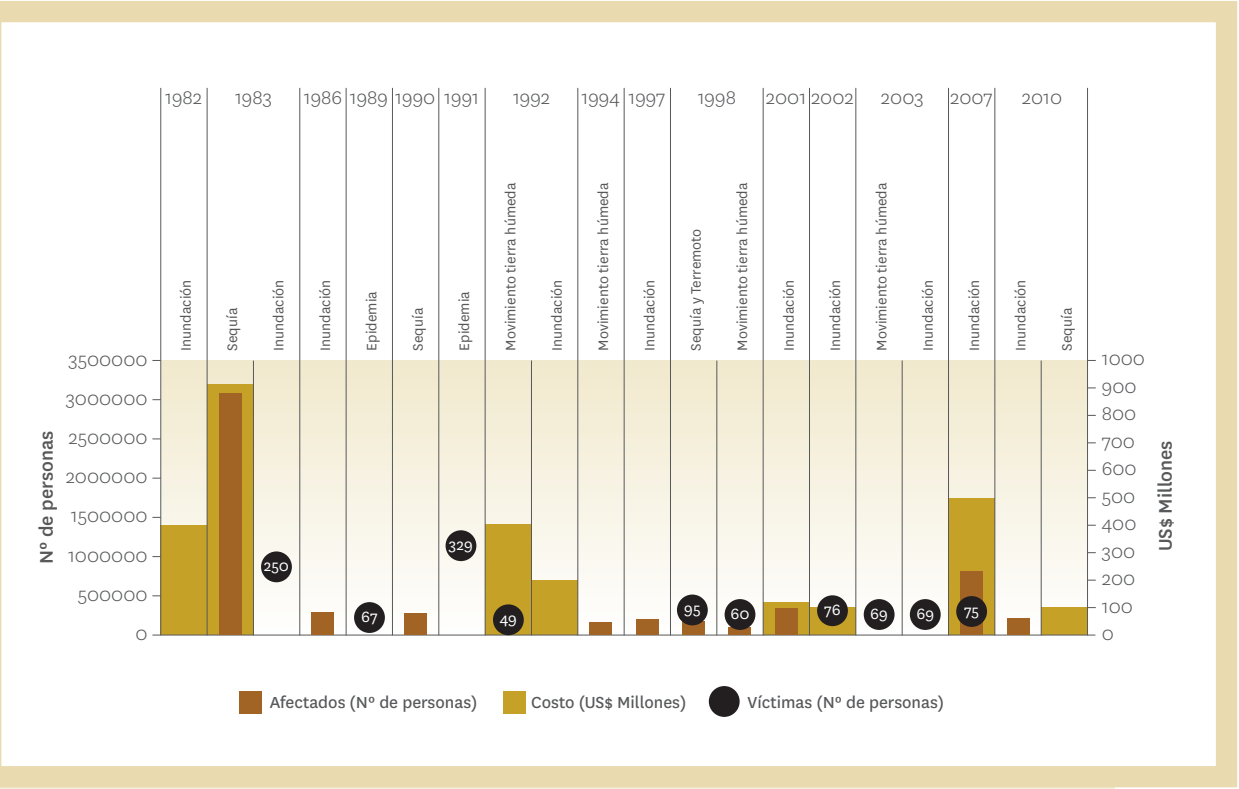


FIGURA 11.

Principales eventos naturales con el número de afectados, victimas y perdidas económicas; periodo (1980-2010).Elaboración propia con información de BID (2016)

En la misma línea, en la Figura 12 se presentan las pérdidas de vidas y de dinero ocurridas por los diferentes eventos desde 1970 hasta 2014 y se aprecia que la sequía es causa de importantes pérdidas materiales y humanas. Se debe resaltar que los datos presentados en la Figura 12, reflejan los eventos que por su magnitud ingresan a la base de datos global de desastres. Para ello se debe cumplir al menos una de las siguientes condiciones: a) al menos 10 víctimas reportadas; b) al menos 100 personas afectadas; c) declaración de estado de emergencia; d) solicitud de asistencia internacional. Esto significa que solicitudes periódicas de apoyo debido a eventos cortos de déficit de agua no se registran en esta base de datos.

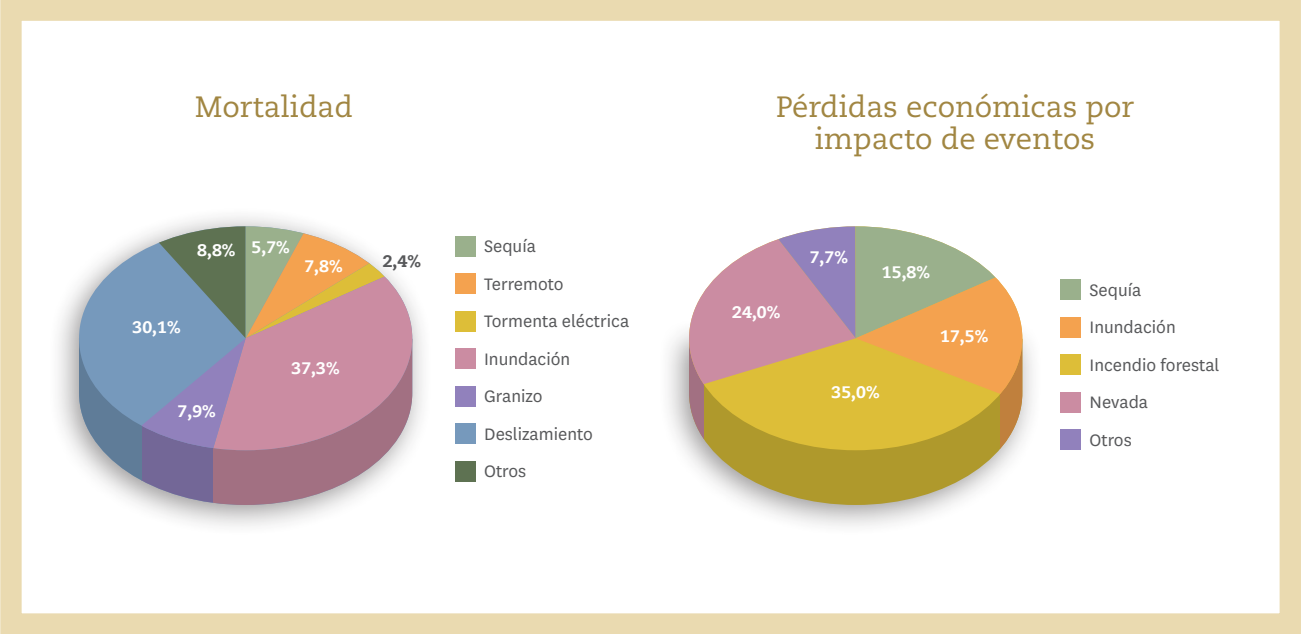


FIGURA 12.

Pérdidas de vidas y económicas en porcentaje, provocadas por los eventos más importantes entre 1990-2014. Elaborado con información de https://www.preventionweb.net/countries/bol/data/

Los mayores impactos de la sequía se sienten en la agricultura debido a que solo el 5 % de esta actividad cuenta con riego complementario y/o suplementario, provocando estancamiento en el crecimiento de este sector en cada evento moderadamente fuerte. El siguiente sector en sufrir los impactos de la sequía es el de la provisión de agua potable, el que, históricamente, no fue severamente afectado hasta la sequía de 2015-2017 cuando los impactos llegaron al área urbana y afectaron a siete ciudades del país. En dicho evento, se demostró que ni las ciudades bolivianas ni sus sistemas de distribución se encuentran preparados para recortes en la distribución de agua, provocando descontento y conflictos por el uso del agua. Esto es llamativo, pues la intensidad de la sequía, en términos del índice SPEI, no fue extrema, y a pesar de ello la distribución de agua potable colapsó por falta de un manejo adecuado de los embalses. En este contexto, se espera igualmente que, bajo condiciones de cambio climático, al incrementarse la demanda evaporativa de la atmósfera por mayores temperaturas, sectores tradicionalmente no afectados por la sequía, como la salud pública y la provisión de electricidad, enfrenten problemas por cortes y limitaciones de agua, lo cual no solamente afectaría al consumo humano de agua, sino que también podría incrementar la morbi-mortalidad por infecciones parasitarias y por debilitamiento progresivo de la población boliviana.

FRECUENCIA DE SEQUÍAS EXTREMAS EN BOLIVIA

Como se describió previamente, la ocurrencia de sequías parece depender de influencias multifactoriales, de las cuales, el Niño y la PDO ejercerían mayor influencia. Entendiendo como sequía extrema a aquella que se extiende espacialmente y se prolonga por un periodo relativamente largo, La Figura 13 a continuación (mapas arriba), muestra la cantidad de precipitación anual que recibe un punto cualquiera del territorio boliviano en un año considerado normal y en uno asociado a una sequía extrema. Se percibe que en ambos casos la variabilidad espacial es intensa, pero no así las cantidades recibidas en ambos escenarios, siendo claro que el Occidente del país, por su aridez intrínseca, enfrenta déficits elevados en cualquier escenario.

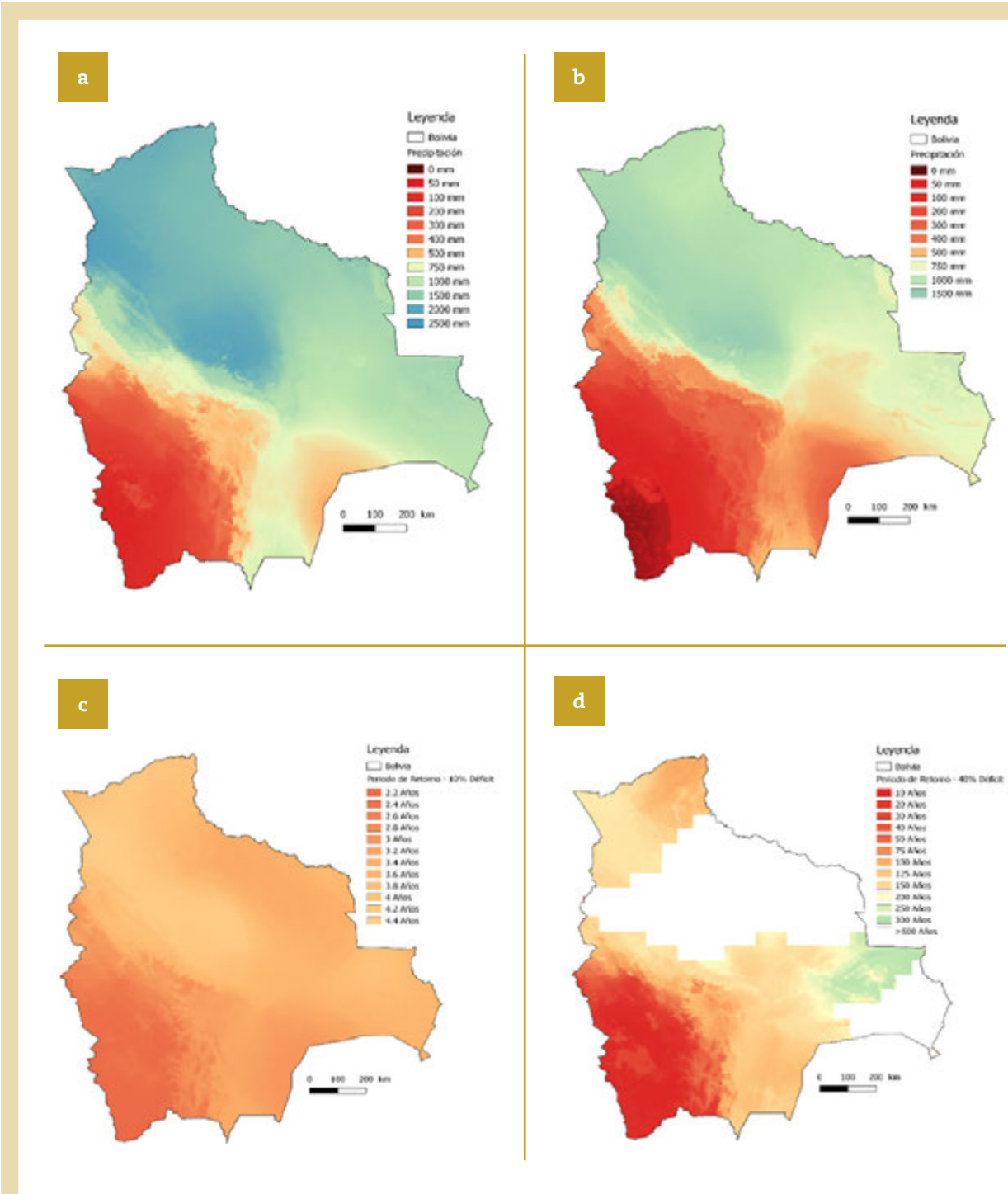


FIGURA 13.

Mapas de precipitación anual esperada para una sequía esperada en a) 1 en 2 años y b) 1 en 100 años. Mapas de periodo de retorno para una sequía equivalente a un c) 10% de déficit y d) 40% de déficit.

La diferencia entre los mapas de periodos de retorno (mapas abajo) es más clara, estableciéndose que los déficits más intensos (40%) ocurrirán al menos cada 10 años en el Oeste, pero solo cada 200 años en las zonas con menos déficit promedio.

LA GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES POR SEQUÍA EN BOLIVIA

Al presente, el Estado Plurinacional de Bolivia se encuentra preparando un Documento Nacional para enfrentar la sequía, orientado a conducir al país a salir del enfoque de centralizar los esfuerzos a la atención del desastre, y más bien manejar el riesgo en forma integral, intentando evitar al máximo posible la ocurrencia del desastre a través de una mitigación adecuada. Este documento todavía no se encuentra disponible para los usuarios, pero se espera su publicación en un futuro cercano. Al presente, el manejo de la sequía aún se desarrolla bajo un enfoque de atención de la emergencia y, por tanto, bajo la tutela del Ministerio de Defensa como cabeza de sector, específicamente en torno al Viceministerio de Defensa Civil. La estructura de atención de la emergencia se describe a continuación y esta normada por la Ley 602 de 2014.

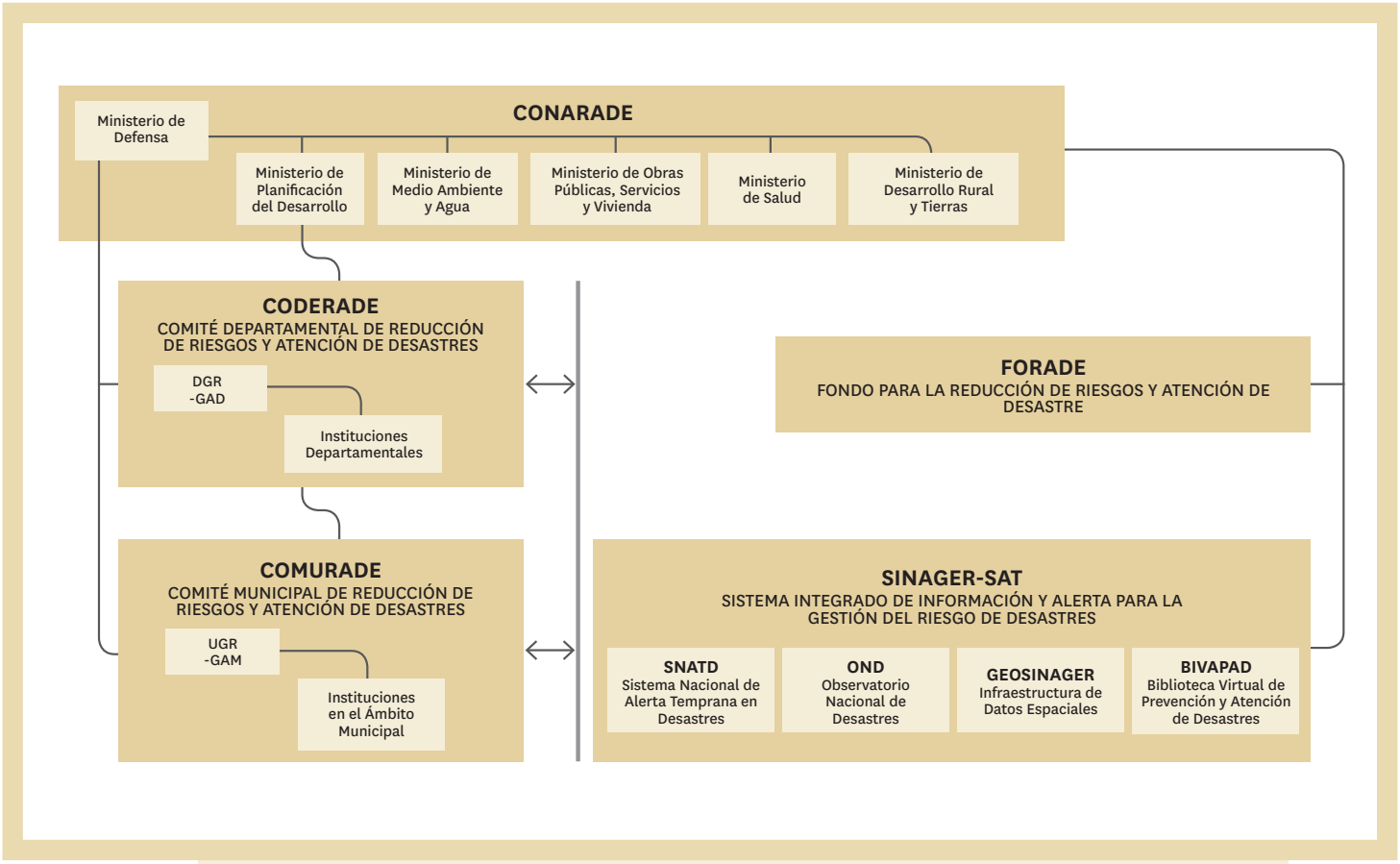


FIGURA 14.

Paisaje institucional de la sequía en Bolivia. El SNATD emite la alerta en base a sus observaciones, la cual es recibida por los Comités locales o nacionales de atención al desastre. Estos Comités se encuentran compuestos por representantes de todas las áreas de importancia en el territorio. A nivel local, los Consejos Municipales de Reducción del Riesgo y Atención del Desastre (COMURADE´s) y los correspondientes departamentales (CODERADE´s) a través de las UGR (Unidades de Gestión del Riesgo), son los encargados de realizar la atención al evento a través de medias de mitigación momentáneas. Sin embargo, cuando la magnitud del evento, excede las capacidades de estas entidades locales, el Consejo Nacional de Reducción del riesgo y Atención del Desastre (CONARADE) (que idealmente, debería estar monitoreando la situación) entra en acción y apoya la implementación de medidas mayores (Obtenido de Del Callejo e Iriarte, 2014)

La Figura 15, por su parte, presenta el esquema institucional de atención al evento, que parte del monitoreo permanente del estado hidropluviométrico y muestra el flujo de información para la declaratoria de desastre.

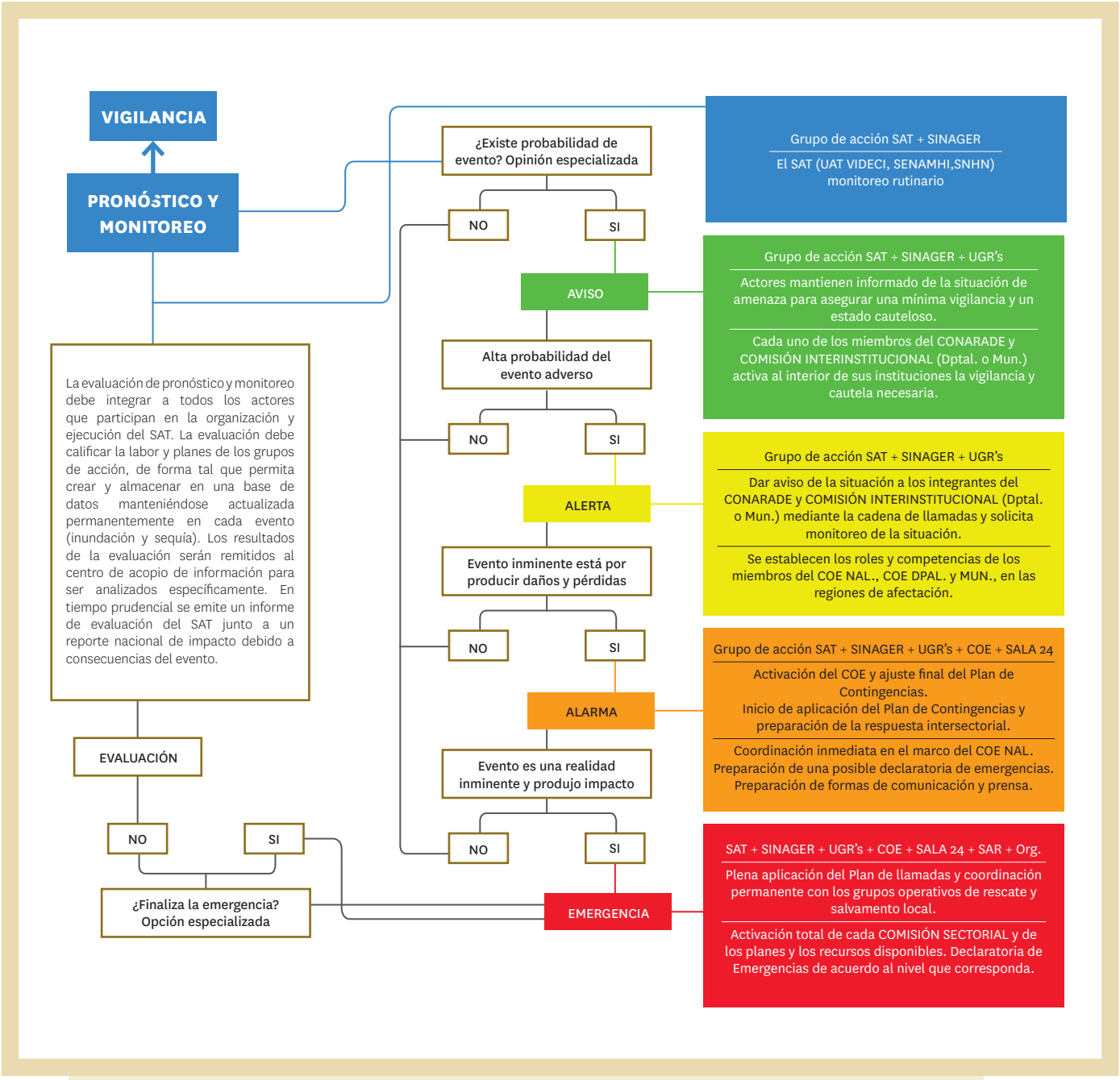


FIGURA 15.

Protocolo de atención ante declaratoria de emergencia

Como se aprecia, la estructura institucional presente está centrada en el monitoreo, alerta y atención al desastre causado por la sequía, con reducida atención a la preparación para una respuesta adecuada. Este enfoque está siendo cambiado, aunque no es esperable que los resultados de estos esfuerzos sean medibles en el futuro muy próximo.

EL MONITOREO DE SEQUÍAS COMO PARTE DEL SISTEMA DE MONITOREO HIDROPLUVIOMÉTRICO EN BOLIVIA

La ocurrencia de eventos extremos hidrometeorológicos frecuentes, especialmente inundaciones, que han provocado severas pérdidas tanto humanas como materiales, ha mostrado al Estado Boliviano la necesidad de establecer sistemas de monitoreo de los eventos hidro-pluviométricos, orientados en principio al monitoreo de inundaciones, pero que están siendo ampliados para el monitoreo de todas las condiciones pluviométricas en Bolivia.

En este sentido, el Viceministerio de Recursos Hídricos y Riego (VRHR), en el marco de sus atribuciones por Ley y sus estrategias operativas estipuladas en el PNC (Plan Nacional de Cuencas), y en vista de las grandes consecuencias que tienen los fenómenos hidrológicos para la economía de zonas bajas bolivianas y para el País entero, desde 2014 priorizó la implementación de un Sistema de Pronóstico Hidrológico para Inundaciones conocido como FEWS-Bolivia, para la gestión de riesgos de inundación de las llanuras inundables. El Programa se inició con el objetivo general de minimizar los efectos adversos de las inundaciones en las llanuras bolivianas, a través del desarrollo e implementación de un sistema de pronóstico hidrológico basado en simulación hidrológica y de modelos de pronóstico meteorológico. Para ello, se ha desarrollado la plataforma FEWS-Bolivia (MMAyA, 2016), la cual fortalece las dos primeras etapas o fases de un Sistema de Alerta Temprana SAT (monitoreo y pronóstico hidrológico) constituyéndose así en un "sistema de pronóstico hidrológico" (Figura 16).

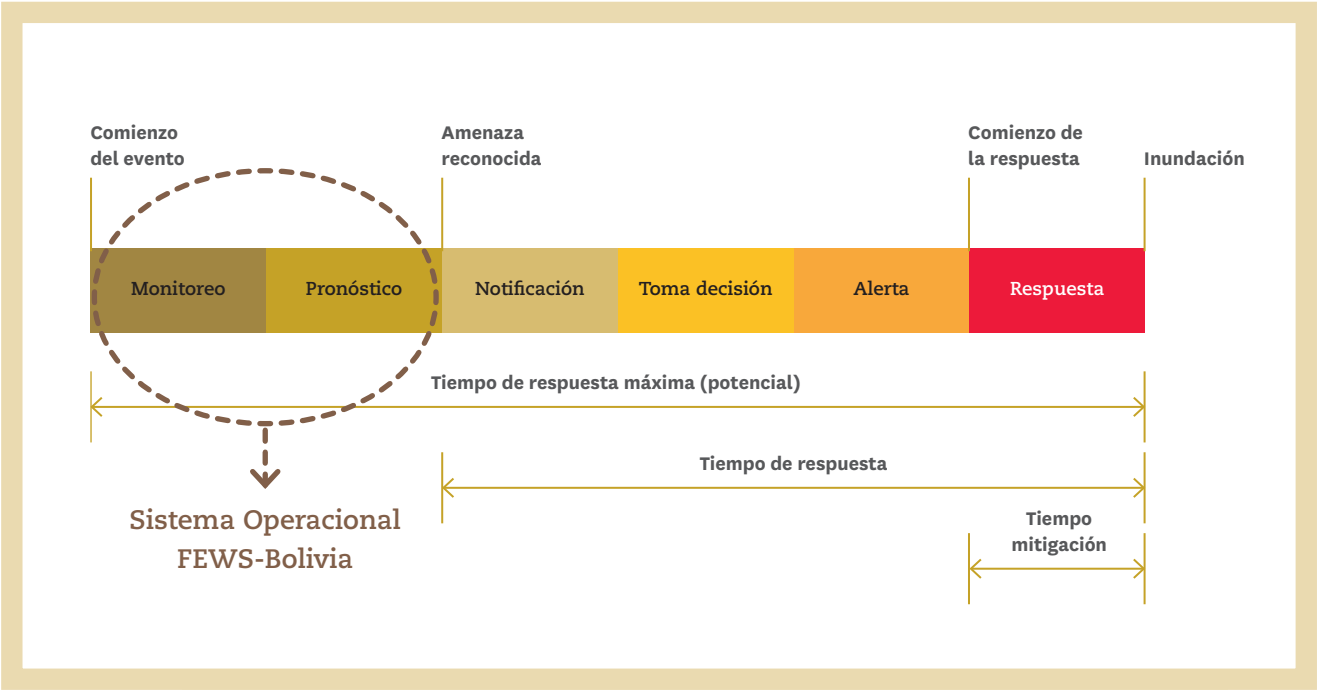


FIGURA 16.

Sistema de pronóstico y alerta temprana hidropluviométrica

La primera etapa básica, fundamental, es el monitoreo de datos meteorológicos e hidrológicos, que permiten primero, a partir de datos históricos, calibrar modelos hidrológicos que reproduzcan de la manera más fiel posible, el comportamiento hidrológico de las cuencas. Luego, a partir de datos a tiempo real y resultados de modelos meteorológicos globales, estos modelos permiten elaborar pronósticos con la suficiente anticipación a la ocurrencia de un determinado evento (siete días en pronóstico meteorológico y

© Pixabay/DiegoUbiria, CCo Creative Commons

hasta 14 días de pronóstico hidrológico a la salida de la cuenca). Una vez que los pronósticos son elaborados, corresponde a la instancia técnica responsable, su notificación a la autoridad competente.

Las tareas definidas, que desarrolla la plataforma FEWS-Bolivia, son las siguientes:

- Importar datos de estaciones hidro-meteorológicos a tiempo real (Campbell, ADCON, TWIS, SUTRON) y manuales (SISMET, AASANA, SEMENA), asimismo, calcula valores diarios de parámetros hidro-meteorológicos correspondientes a las estaciones automáticas.
- Generar series de caudales diarios con base en curvas de descarga (H-Q) procesadas para todas las estaciones hidrométricas disponibles.
- Importar pronósticos meteorológicos del GFS – Global Forecast System (Sistema de Predicción Global - NOAA), tarea que es actualizada de manera automática cuatro veces por día.
- Pre procesar registros hidrométricos y meteorológicos, tarea que se puede ejecutar para lapsos de 15 minutos.

Extendiendo estos resultados hacia estudios de otros extremos y en base a este sistema ya establecido, el Área de Estudios Hidrológicos de la Dirección General de Planificación del Ministerio de Medio Ambiente y Agua encamina otros estudios hidrológicos. Entre ellos se hallan los siguientes estudios/proyectos:

- Índice Normalizado de Precipitación y Evapotranspiración a nivel nacional (SPEI, por sus siglas en inglés, realizado con base en Vicente-Serrano *et al*. 2010).
- Red de monitoreo Hidro-climático en 10 Presas piloto a nivel nacional (Programa Piloto de Monitoreo Hidrometeorológico y Gestión de Embalses).

La expectativa es que los resultados sean integrados con la red de monitoreo hidro-climático de Presas, todas integradas al Sistema Operacional FEWS-Bolivia para el monitoreo hidropluviométrico.

Se espera que pronto, el monitoreo hidropluviométrico que ya se encuentra en funcionamiento, sea la base para el monitor de sequías. En base a esta información y a experiencias anteriores, Bolivia espera salir del ciclo hidro-ilógico en el que, durante los años normales y húmedos, los usuarios del agua son a menudo apáticos a la falta de agua y no toman medidas para prepararse para el evento. Cuando la sequía se produce, los usuarios no están suficientemente preparados y a menudo es demasiado tarde para hacerlo adecuadamente. Como resultado, sus efectos potenciales son mucho más severos que si los usuarios del agua hubieran desarrollado por adelantado un programa de prevención y mitigación de la sequía que reduzca o anule el impacto y active una respuesta más oportuna.

En base a la anterior premisa, la planificación que Bolivia está iniciando para convivir con la ocurrencia de eventos de sequía se basa en los siguientes principios:

- Los períodos de precipitación por debajo de la media ocurren y son inevitables en todas las zonas, por lo tanto, la sequía se producirá en un momento en el tiempo
- Las medidas de respuesta al evento pueden ser planificadas con anterioridad y los procedimientos de implementación definidos anticipadamente para minimizar los riesgos o mitigar los impactos, y deben incluir acciones para cada rango relativo de precipitación, desde los estados en que la cantidad de lluvia es normal hasta extremadamente baja.
- La planificación de la gestión incluye tanto la mitigación como la respuesta a la sequía.
- La mitigación se refiere a las medidas adoptadas antes de que ocurra una sequía y que reducen el potencial de los impactos negativos cuando se produce el evento.
- La respuesta a la crisis se da solamente en condiciones bajo las cuales la falta de precipitación ha excedido los niveles de planificación, y es necesario tener definidas las acciones que se tomarán como respuesta.
- Tanto la mitigación como la respuesta requieren de información basada en un monitoreo intensivo de las condiciones termo-pluviométricas y en investigación para desarrollar el potencial de pronóstico de sequías en corto y mediano plazo.

BRASIL

AUTORES

Humberto Alves Barbosa[1], Catarina de Oliveira Buriti[2], Franklin Javier Paredes Trejo[3], Leandro Rodrigo Macedo da Silva[1] y Carlos Alejandro Uzcátegui Briceño[4]

[1] Laboratório de Análise e Processamento de Imagens de Satélites (LAPIS), Universidade Federal de Alagoas (UFAL), Campus A. C. Simões, Maceió, Alagoas, Brasil.

[2] Instituto Nacional do Semiárido (INSA), Unidade de Pesquisa do Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC), Campina Grande, Paraíba, Brasil.

[3] Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Los Llanos Occidentales 'Ezequiel Zamora', Venezuela

[4] Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campina Grande, Paraíba, Brasil.

© Pixabay/Alzenir Ferreira de Souza, CCo Creative Commons

Introducción

LA SEQUÍA ES UNO DE LOS DESASTRES NATURALES DE MAYOR OCURRENCIA E IMPACTO en el mundo, debido, principalmente, a su persistencia temporal y las extensas áreas afectadas (Neves, 2010). También es considerada un fenómeno social, por caracterizar una situación de extrema pobreza y estancamiento económico (ATLAS, 2011). Este proceso genera y acentúa la escasez de recursos naturales vitales para la supervivencia humana, tales como agua potable, suelo agrícola y vegetación (Silva *et al*., 2009). Las consecuencias más evidentes de las grandes sequías son el hambre, la desnutrición, la miseria y el éxodo rural (McBean, Rodgers, 2009). Sus impactos dependen de las vulnerabilidades locales y de la capacidad de adaptación y resiliencia de la población, de los ecosistemas y de los gobiernos.

En Brasil, la sequía ha sido común en todas las regiones. Recientemente, algunas de sus más importantes ciudades se encontraron al borde de un colapso debido al limitado abastecimiento hídrico. El área Metropolitana de São Paulo, en la Región Sudeste, con más de 20 millones de habitantes y considerada la ciudad más próspera del país, en el período de 2014-2016, enfrentó una severa sequía, que provocó la peor crisis hídrica que ha enfrentado aquella región (Vásquez, 2017). La sequía también alcanzó Brasilia, la Capital Federal, en el Centro-Oeste del país, que actualmente enfrenta una crisis hídrica sin precedentes en su historia. El fenómeno afectó incluso la Amazonia, en la región Norte de Brasil, donde, en los últimos años, la sequía ha sido señalada como un factor agravante de la ocurrencia de incendios forestales.

La región más afectada por la sequía en Brasil es el Semiárido, con más de 1 millón de km2 de extensión territorial, donde viven cerca de 28 millones de personas. Existen áreas de la región que suelen experimentar períodos secos de hasta 11 meses, bajo condiciones históricamente normales (AB'Saber, 1977). Durante la ocurrencia de sequías extremas, este escenario toma proporciones de desastre natural, ya que no se dispone de una infraestructura adecuada y su población no está preparada para hacer frente a sus impactos. En las microrregiones más secas de Brasil, ubicadas en el Semiárido brasileño, por ejemplo, de los Cariris, en el estado de Paraíba, el registro pluviométrico promedio anual puede quedar por debajo de 200 mm, en años de sequías extremas, como ocurrió en el 2012. (Alves; Souza; Nascimento, 2009). La región del Raso de Catarina, en el estado de Bahía, naturalmente, se presenta hasta 11 meses secos, con una precipitación media anual en torno a 400 mm (Velloso; Sampaio; Pareyn, 2002). La precipitación media anual en el Semiárido brasileño es de 800 mm, a pesar de que la región tenga como característica climática un alto nivel de variabilidad espacio-temporal.

En el período 2010-2017, el Semiárido brasileño enfrentó la "Sequía del Siglo", considerada la peor de la que se tenga registro en la historia del país (Buriti; Barbosa, 2018). Este evento presentó una intensidad, alcance y duración sin precedentes, y acarreó consecuencias devastadoras a la población, economía y gobiernos (McBean; Rodgers, 2009; Silva *et al*., 2009). Resaltó por la deficiencia hídrica que asoló la región, donde el volumen del agua de los ríos y reservorios quedó en una situación extremadamente crítica (Barbosa; Kumar, 2016). En el 2012, cuando ocurrió el pico del extremo climático, todos los municipios del

Semiárido brasileño decretaron una Situación de Emergencia, debido a los efectos del evento climático; en alguno de ellos, esta condición se registró más de una vez (ANUÁRIO, 2014). Los impactos de la intensa sequía afectaron directamente a la economía nacional, especialmente a la población de las metrópolis, conduciendo a una gran reducción en la oferta de productos y a un aumento en los precios de los alimentos (Stanke *et al*., 2013).

Sin embargo, a pesar de la severidad del evento climático, la región no experimentó un cambio atípico en sus condiciones climáticas naturales. En todo caso, es probable que no se implementaron políticas de adaptación adecuadas a las sequías en los territorios donde se desarrollan las actividades de los sectores más vulnerables al fenómeno (agrícola, hídrico, industrial, etc.) (Paredes; Barbosa; Guevara, 2015).

LA OCURRENCIA DE EVENTOS DE SEQUÍA EN BRASIL

La historia de las sequías en Brasil permite identificar y evaluar las respuestas presentadas por los gobiernos, en términos de políticas y acciones de adaptación, de acuerdo con la severidad de cada evento climático. Un análisis de las políticas para la convivencia con la sequía en Brasil fue realizado en la obra *"Un siglo de sequías: ¿Por qué las políticas hídricas no transformaron el Semiárido brasileño?"*.

Durante las sequías en el Semiárido brasileño, tradicionalmente, el énfasis de los gobiernos recaía sobre políticas de emergencia, acciones en general tardías, centralizadas, sin la adecuada planificación e insuficientes para resolver el problema. Desde el inicio del siglo XX, se registraron eventos climáticos con impactos severo o extremo en el Semiárido brasileño (1919, 1932, 1942, 1980, 1983, 1990, 1993, 1998, 1998, 2012 y 2016). A pesar de ello, el país aún no ha desarrollado una capacidad adecuada de respuesta para la gestión de esos eventos climáticos extremos (Buriti; Barbosa, 2018).

© Pixabay/chillervirus, CCo Creative Commons

En la Figura 1, se presenta una clasificación de la intensidad de las sequías meteorológicas ocurridas en el Semiárido brasileño, durante el período 1901-2016, con base en el Índice de Precipitación Estandarizada (SPI, de las siglas en inglés *Standardized Precipitation Index*). Originalmente desarrollado para identificar la precipitación anómala y extrema (McKee; Doesken; Kleist, 1993), el método permite monitorear el déficit de precipitación pluvial, de forma normalizada, en diversas escalas de tiempo y espacio, sobre la base de los registros históricos mensuales de precipitación.

Fueron utilizadas seis clases de SPI para este estudio, conforme a la Tabla 1.

TABLA 1 CLASIFICACIÓN DE LAS SEQUÍAS, DE ACUERDO CON EL ÍNDICE DE PRECIPITACIÓN ESTANDARIZADA. FUENTE: NATIONAL DROUGHT MITIGATION CENTER (2006).

CATEGORÍA	POSIBLES IMPACTOS	SPI
CONDICIÓN NORMAL DE SEQUÍA	CONDICIÓN NORMAL DE LA PRECIPITACIÓN.	0 A -0.5
CONDICIÓN ANORMAL DE SEQUÍA	INICIA LA SEQUÍA, PERÍODO CORTO EN QUE SE SECAN LENTAMENTE LOS CULTIVOS, PLANTACIONES Y PASTOS, COMIENZA A HABER RIESGOS DE INCENDIO, FALTA DE AGUA, PASTOS Y LOS CULTIVOS NO SON TOTALMENTE RECUPERADOS.	-0.5 A -0.8
SEQUÍA MODERADA	ALGUNOS DAÑOS A LOS CULTIVOS Y PASTOS, ALTO RIESGO DE INCENDIO. RIACHUELOS, REPRESAS Y POZOS CON BAJO NIVEL DE AGUA, INMINENTE ESCASEZ HÍDRICA, LO QUE IMPLICA EL PEDIDO DE CONSERVACIÓN DEL AGUA.	-0.8 A -1.3
SEQUÍA SEVERA	POSIBLES PÉRDIDAS DE CULTIVOS Y PASTOS, RIESGO DE INCENDIO, ESCASEZ DE AGUA COMÚN, RESTRICCIONES EN EL USO DEL AGUA.	-1.3 A -1.6
SEQUÍA EXTREMA	PÉRDIDA MAYOR DE CULTIVOS/PASTOS, PELIGRO EXTREMO DE INCENDIOS, RESTRICCIONES ESTRICTAS DE USO DEL AGUA.	-1.6 A -2.0
SEQUÍA EXCEPCIONAL	PÉRDIDA DE CULTIVOS / PASTOS EXCEPCIONAL Y AMPLIADA, RIESGO INMINENTE DE INCENDIO, ESCASEZ DE AGUA EN REPRESAS, RÍOS Y POZOS, CREACIÓN DE UN ESTADO DE EMERGENCIA.	-2.0 A MENOS

Los valores positivos indican un monto de precipitaciones mayor que el promedio histórico, mientras que los negativos sugieren que ocurrieron lluvias por debajo de lo normalmente esperado. Un episodio de sequía ocurre siempre que el valor del SPI es continuamente negativo, alcanzando una intensidad igual o menor que menos uno (-1,0). Se termina cuando el valor del SPI vuelve positivo. Los registros históricos mensuales de precipitaciones fueron provistos por el Laboratorio de Análisis y Procesamiento de Imágenes de Satélites (LAPIS - www.lapismet.com.br), bajo este criterio se generó la Figura 17. La escala temporal utilizada para el cálculo del SPI fue mensual, pero en la Figura 17 se muestra el promedio aritmético simple para los meses de febrero a mayo de cada año (temporada de lluvia en el Semiárido brasileño), durante el período de 1901-2016.

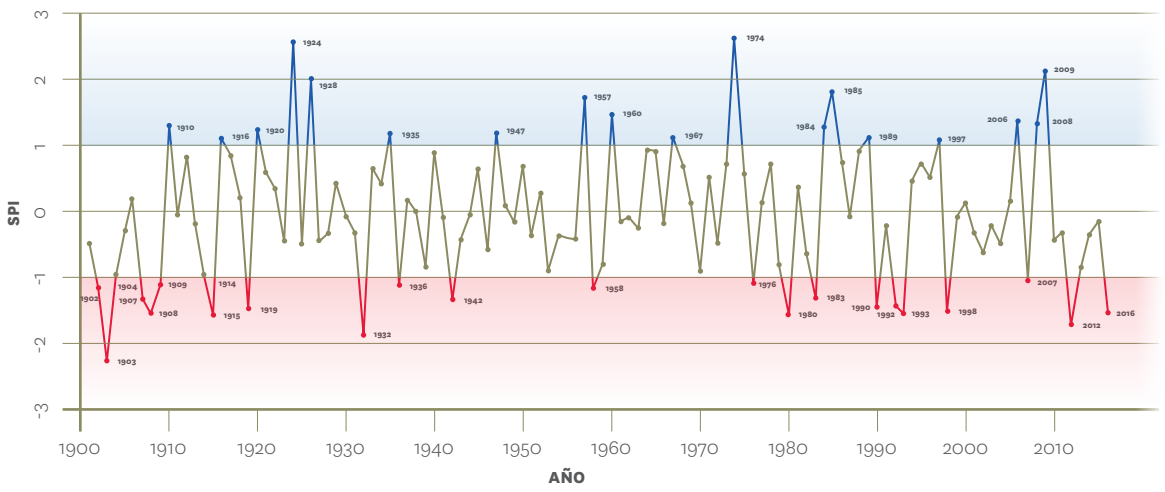


FIGURA 17.

Índice de Precipitación Estandarizada mensual promediado anualmente entre febrero y mayo (1901-2016). Fuente: LAPIS/UFAL (2016).

Con base en los datos presentados en la , la clasificación de las sequías ocurridas en el Semiárido brasileño, durante el período 1901-2016, se presenta en la Tabla 2.

TABLA 2 LAS SEQUÍAS EN EL SEMIÁRIDO DE BRASIL (1901-2016). FUENTE: BURITI, BARBOSA, 2018

CATEGORÍA	AÑOS DE SEQUÍA	CANTIDAD DE AÑOS SECOS
CONDICIÓN ANORMAL DE SEQUÍA	1946, 1982 Y 2002.	3
SEQUÍAS MODERADAS	1902, 1904, 1909, 1914, 1936, 1939, 1953, 1958, 1959, 1970, 1976, 1979, 2007 Y 2013.	14
SEQUÍAS SEVERAS	1907, 1908, 1915, 1919, 1942, 1980, 1983, 1990, 1992, 1993, 1998 Y 2016.	12
SEQUÍAS EXTREMAS	1932 Y 2012.	2
SEQUÍAS EXCEPCIONALES	1903.	1

La excepcionalidad de la reciente sequía que alcanzó al Semiárido brasileño (2010-2016) es evidente en la Error! Reference source not found., debido a que el evento climático se presenta como el peor de la historia, desde que comenzaron las primeras observaciones científicas. En la figura los datos del SPI muestran que la sequía de 1903 alcanzó proporciones excepcionales, en términos de intensidad, pero la del 2010-2016, además de haber sido una de las más intensas, fue también una de las más persistentes registrada dentro del Semiárido brasileño.

Comparando los eventos de sequías con la ocurrencia del fenómeno El Niño, se identificó que, de las 32 sequías ocurridas en el Semiárido brasileño, durante el período 1901-2016, 23 casos de ellas coincidieron con la presencia de episodios *El Niño* (débiles, moderados y fuertes), poco más del 70% de ellos. Por otro lado, se observó que nueve eventos de sequía en el Semiárido (casi el 30% de ellos) no coincidieron con la ocurrencia de *El Niño* (1904, 1907, 1909, 1915, 1936, 1942, 2012 y 2013).

Este análisis está en consonancia con la afirmación de Kane (1997) de que El Niño Oscilación Sur (ENOS) se relaciona con la ocurrencia de montos de precipitación inferior a lo normal, aunque conviene aclarar que no todos los eventos *El Niño* se relacionan con sequías severas. Otro factor que influye significativamente sobre el déficit de precipitación en el Semiárido brasileño son las anomalías de la temperatura de la superficie del océano Atlántico (Kane, 1997). Este fenómeno se conoce como Dipolo del Atlántico, y asocia las anomalías de temperatura de la superficie del Atlántico tropical con las anomalías de precipitación en el Nordeste brasileño (Moura; Shukla, 1981).

LOS IMPACTOS DE LA SEQUÍA EN LOS DIFERENTES SECTORES DE BRASIL

En el período 1991-2012, se registraron 39.837 casos de desastres naturales en Brasil. De ese total, los episodios de canícula y sequía totalizaron 19.517 registros oficiales, representando el 48% de los registros nacionales. La presencia de eventos de sequía y canícula entre las regiones brasileñas está distribuida de la siguiente forma: Nordeste (56,68%), Sur (26,91%), Sudeste (13,39%), Norte (1,08%) y Centro-Oeste (0,94%). El Nordeste es la región brasileña más afectada por esa tipología de desastre, con casi el 60% de los registros del fenómeno en Brasil. En esta región, la gran mayoría de los desastres naturales registrados son relativos a episodios de canículas y sequías, correspondientes al 78,4% del total (ATLAS, 2013).

La sequía es una deficiencia de precipitación pluviométrica, durante un período prolongado, que resulta en escasez de agua para algunas actividades, grupos o sectores ambientales (NDMC, 2007). Las canículas en los ríos resultan de la reducción de las precipitaciones pluviométricas a niveles sensiblemente inferiores a la normal climatológica, comprometiendo las reservas hidrológicas locales y causando perjuicios a la actividad agropecuaria. Las canículas se caracterizan por ser menos intensos que las sequías y ocurrir durante periodos de tiempo más cortos (Sousa Júnior; Sausen; Lacruz, 2010).

En 2013, un total de 4.433 municipios brasileños fueron afectados por algún tipo de desastre natural, de los cuales, cerca del 71% fueron consecuencia de la sequía y la canícula. En aquel año, el Semiárido fue la región brasileña más afectada por los eventos de sequía y canícula, con un total de 3.096 registros de ocurrencia de ese tipo de desastre en sus municipios. Un total de 11.953.305 personas fueron afectadas por los desastres de sequía y canícula en el país (ANUÁRIO, 2014).

Según una reciente investigación del Instituto Brasileño de Geografía y Estadística (IBGE), en el período de 2013 a 2017, prácticamente la mitad de los 5.570 municipios brasileños (48,6%) registró algún episodio de sequía. Sin embargo, en el 2017, la mayoría de esos municipios (59%) no contaban con un instrumento orientado a la prevención de desastres naturales y apenas el 14,7% tenían un plan específico de contingencia y/o prevención de la sequía (IBGE, 2017).

La sequía es considerada un desastre natural silencioso, cuyos impactos económicos generados afectan a miles de personas y, muchas veces, son relegados por los formuladores de políticas públicas (Novaes; Félix; Souza, 2013). Su extensión y frecuencia recurrente perjudican actividades económicas en los

sectores de la agricultura, ganadería, industria, servicios y la comunidad en general. El Nordeste brasileño, periódicamente, es afectado por ese fenómeno, que desestructura el funcionamiento de sus diversos sectores productivos.

En el período 1995-2014, el total de daños materiales y perjuicios (públicos y privados) causados por desastres naturales en Brasil fueron estimados en R$ 182 mil millones. Los desastres naturales derivados de eventos climatológicos son los de mayor representatividad en cuanto a los daños y perjuicios en el país; estos son responsables por el 54% de las pérdidas, estimadas en el orden de R$ 100 mil millones. De este total de daños y perjuicios de origen climatológico, cerca del 75% están directamente vinculados a las sequías y canículas que, como se comentó, afectan a la región Nordeste de Brasil, así como a las regiones Sur y Centro-Oeste (CEPED, 2016).

Los *daños materiales* se refieren a la información de daños en viviendas e infraestructuras, así como en instalaciones públicas y privadas, presentadas en número de registros y en valores monetarios. Los *perjuicios* se relacionan con las pérdidas reportadas en los sectores público y privado, siendo que en este último, los valores informados están segmentados entre los sectores de agricultura, ganadería, industria y servicios.

Ante las proyecciones de cambios climáticos en un futuro breve y su relación con la creciente ocurrencia de desastres naturales, el aumento en la frecuencia y la intensidad de las sequías demanda que el gobierno y la sociedad tomen actitudes urgentes en la implementación de acciones estructurales y no estructurales, enfocados en la gestión integrada de los riesgos de desastres (CEPED, 2016).

LA FRECUENCIA DE SEQUÍAS EXTREMAS EN BRASIL

A fin de explorar con más detalle la incidencia temporal de este fenómeno en el Nordeste brasileño, se estimó el área afectada por sequías durante el periodo 2000-2015 usando el producto global SPEIbase v2.5 (disponible en http://sac.csic.es/spei/database.html; detalles en Beguería *et al.*, 2014). Este producto consta de una grilla uniforme con cobertura global a 0.5º x 0.5º, cuyas celdas contienen el Índice de Precipitación-Evapotranspiración Estandarizado (SPEI por sus siglas en inglés) mensual, para una agregación temporal que varía entre 1 a 48 meses. Para este análisis se seleccionó una agregación trimestral (en lo sucesivo, SPEI3), pues el SPEI consigue capturar relativamente bien la evolución de las sequías agrícolas (Vicente-Serrano *et al.*, 2012). Bajo este criterio, se determinó el porcentaje mensual de celdas que muestran un valor de SPEI3 igual o inferior a -1.00. La serie temporal así obtenida, permitió crear la Figura 18. A juzgar por su contenido, el Nordeste brasileño es frecuentemente afectado por sequías de amplia extensión superficial y persistentes, lo cual es consistente con el patrón espacial observado en la Figura 19 y los hallazgos reportados sobre este particular (ej., Paredes *et al.*, 2015; Marengo; Bernasconi, 2015). Sin embargo, también puede notarse que desde el 2012 hasta el final del periodo analizado, las rachas secas se caracterizan por su anómala persistencia temporal y amplia extensión superficial (reflejado por una sucesión de picos en la media móvil de 12 meses), tal cual refiere Brito *et al.* (2018).

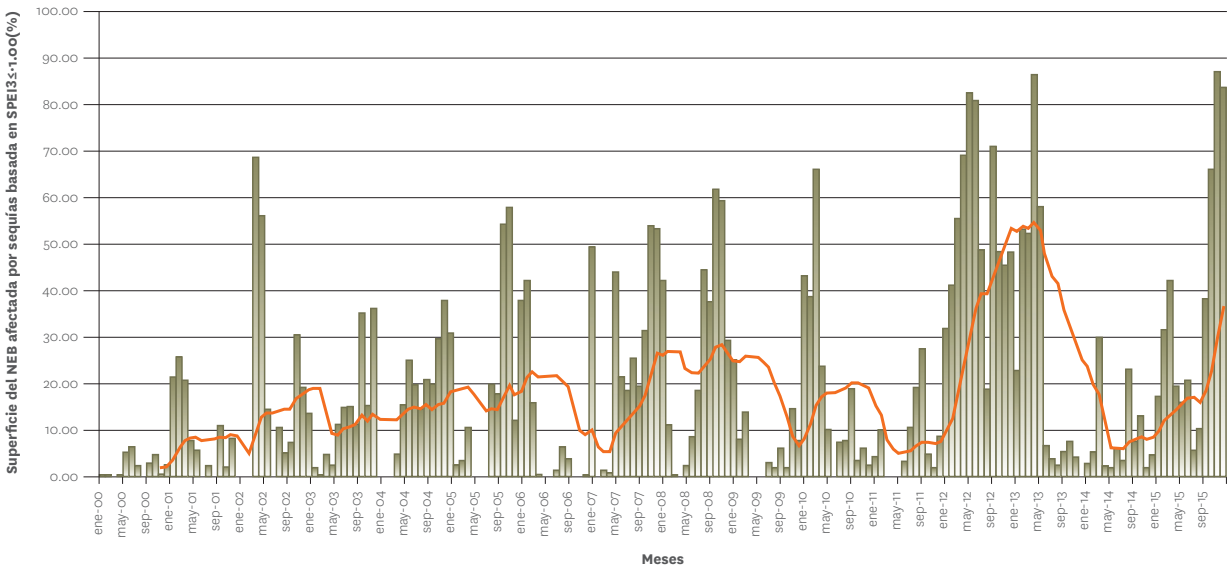


FIGURA 18.

Porcentaje del NEB afectado por sequías durante el periodo 01/2000-12/2015. Basado en el SPEI agregado trimestralmente y derivado del producto global SPEIbase v2.5. Solo se toma en cuenta las celdas donde SPEI ≤ -1.00. El periodo base para el cálculo del SPEI abarca desde 01/1901 al 12/2015. La línea de color rojo es un promedio móvil centrado de 24 meses.

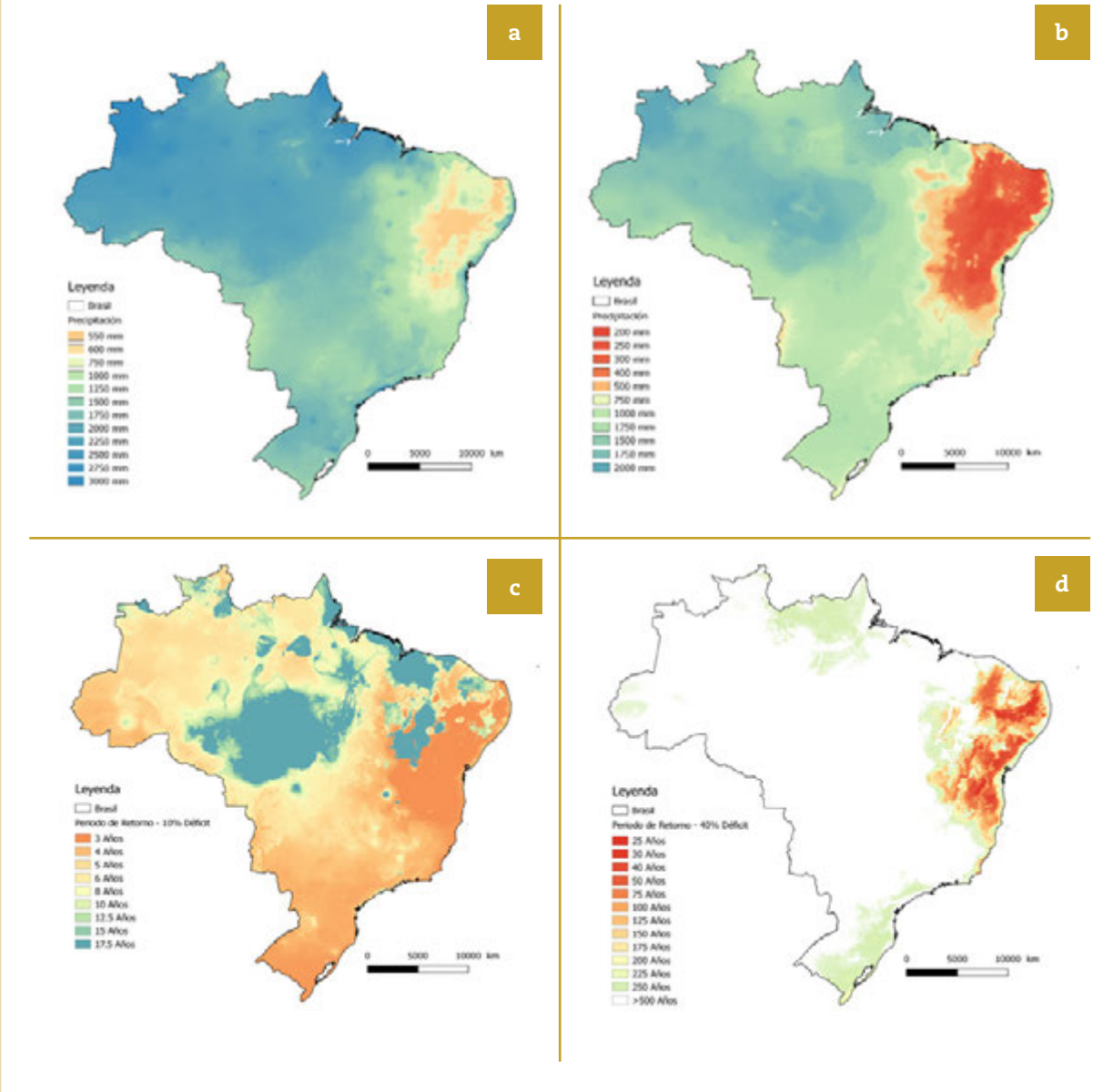


FIGURA 19.

Mapas de precipitación anual esperada para una sequía esperada en a) 1 en 2 años y b) 1 en 100 años. Mapas de periodo de retorno para una sequía equivalente a un c) 10% de déficit y d) 40% de déficit.

Aunque el Nordeste brasileño ocupa solamente 18% del territorio brasileño, allí viven unos 53 millones de habitantes que depende en gran medida de la agricultura de subsistencia, los cultivos de secano y los pastizales (Paredes-Trejo *et al.*, 2017; Herwehe; Scott, 2018). Como agravante, una proporción importante de las tierras del semiárido con vocación agrícola presentan un alto grado de degradación debido al empleo de prácticas agrícolas inadecuadas (Vieira *et al.*, 2015). Además, esta región cuenta con recursos hídricos limitados, lo que imposibilita satisfacer los requerimientos hídricos de los cultivos en aquellas unidades de producción de propiedad familiar (Azevedo *et al.*, 2018). Tal escenario, hace del Nordeste brasileño una región altamente vulnerable a la variabilidad climática, en particular a las sequías (Marengo; Bernasconi, 2015).

LA GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES POR SEQUÍA EN BRASIL

Con la institucionalización de las políticas para la sequía en Brasil, a principios del siglo XX, predominó la construcción de grandes obras hidráulicas, en la entonces llamada "Solución Hidráulica". Estas obras fueron insuficientes para disminuir la vulnerabilidad de la población a los impactos de la sequía. De este modo, las acciones de emergencia continuaron concomitantes a las realizaciones de la política hidráulica y ambas integraban el principal programa de intervención gubernamental en la realidad semiárida para adaptación a los impactos de las sequías. En pleno siglo XXI, la población sigue dependiendo de la ayuda pública para hacer frente a la sequía (Buriti, Barbosa, 2018; Silva, 2006).

Uno de los factores históricos predominantes para la falta de efectividad en la gestión del riesgo de sequía en la región, durante más de un siglo, fue la ausencia de participación social democrática autónoma y calificada en el control y la formulación de políticas para la sequía en el Semiárido brasileño (Buriti; Barbosa, 2018). Es cierto que hubo intentos de descentralización desde los años de 1990 con los comités de cuencas hidrográficas y la participación de la sociedad civil en la formulación de políticas hídricas (Gomes, Heller, 2016), sin embargo, aún persisten desigualdades sociales, de poder y de conocimiento en el proceso de gestión institucional de las sequías en Brasil, como es el caso de lo que ocurre con los comités de cuencas hidrográficas (Abers *et al*., 2009).

La participación de la sociedad civil en la gestión de políticas para la convivencia con la sequía ocurre especialmente a través de programas del gobierno federal, basados en la implantación de tecnologías sociales hídricas en la zona rural. Todavía, estas acciones aún carecen de universalización y perfeccionamiento para atender la demanda de la población y alcanzar resultados más efectivos (Buriti; Barbosa, 2018).

De este modo, es necesario fortalecer las instituciones ligadas a la gestión del riesgo de sequías, promover la cualificación de sus agentes y articular las instituciones gubernamentales, de las diferentes esferas de poder (municipios, estados y Unión), con el objetivo de confluir los esfuerzos de diversos actores institucionales para promover la gestión sostenible de las sequías, con participación social.

Una iniciativa piloto de articulación interinstitucional de la gestión del riesgo de sequías en Brasil viene ocurriendo, desde el 2012, con la institucionalización del Monitor de Sequías en el Nordeste (http://msne.funceme.br/map/mapa-monitor/analise#). En la Figura 20, se muestra el Paisaje Institucional de la Sequía en Brasil, con base en la experiencia preliminar en el Semiárido brasileño. El Monitor de Sequías involucra la participación de entidades federales y estatales, universidades y representantes de entidades de la sociedad civil.

FIGURA 20.

Paisaje institucional de la sequía en Brasil

El objetivo del Monitor de Sequías es integrar el conocimiento técnico-científico ya existente para alcanzar un entendimiento común sobre las condiciones de sequía, como: su severidad, evolución espacial y temporal, y sus impactos sobre los diferentes sectores involucrados. El arreglo institucional busca atender una demanda histórica de mejora en el monitoreo y gestión de las sequías en Brasil, también constituye un paso inicial hacia un radical y urgente cambio de enfoque, de la gestión de emergencia y reactiva a la preparación y gestión proactivas, que permita hacer frente a la sequía desde sus primeras señales. Se busca fortalecer los mecanismos de monitoreo, previsión y alerta precoz, así como promover el diálogo sobre cómo mejorar la política y la gestión de las sequías en el país, con el objetivo de que sea un proceso transparente, permanente y consistente.

Otro esfuerzo institucional de gestión de las sequías en Brasil es el Sistema de Monitoreo y Alerta para la Cobertura Vegetal de Caatinga (SimaCaatinga - http://lapismet.com.br/SIMACaatinga/). Esta iniciativa ha desarrollado herramientas para monitorear y predecir las condiciones de sequía en el bioma Caatinga, al tiempo de contribuir a mejorar la planificación, la toma de decisiones y las acciones gubernamentales en

los sectores productivos más vulnerables a las sequías en el semiárido brasilero. Entre los productos de monitoreo por satélite disponibles, están: condición de salud de la vegetación, temperatura de la superficie de la tierra, precipitación y pronósticos climáticos, así como de la humedad del suelo y el albedo.

Estos arreglos institucionales, como por ejemplo el Monitor de Secas y el sistema SimaCaatinga, son esfuerzos puntuales para desarrollar sistemas más precisos de monitoreo y previsión de sequías en el Semiárido brasileño, con el objetivo de dar sustento a las políticas que se tomen sobre este aspecto. Sin embargo, a pesar de estas iniciativas, como resalta Buriti y Barbosa (2018), el diálogo científico-político para la formulación de planes de gestión de las sequías sigue siendo muy incipiente en Brasil. Esto ocurre debido al predominio de acciones de gobierno cortoplacistas (temporales y emergentes), en detrimento de las políticas de Estado (permanentes y coordinadas) para la gestión de las sequías.

Así, se espera que ese Paisaje Institucional de la Sequía en Brasil sea ampliado y fortalecido, tome el respaldo gubernamental para auxiliar las políticas para la sequía en todo Brasil, especialmente en el Semiárido brasileño.

Los modelos climáticos recientes indican que la región semiárida brasileña será una de las más afectadas por los cambios climáticos, pudiendo sufrir una reducción de cerca del 40% de las lluvias en el siglo XXI (Marengo *et al*., 2013). Los impactos de esas alteraciones pueden afectar directamente a cerca de 8,5 millones de personas vinculadas a la agricultura familiar en el Semiárido brasileño, a menudo encontradas en condiciones de extrema pobreza (IBGE, 2006; Lindoso *et al*., 2009).

En el Semiárido brasileño, una de las mayores vulnerabilidades es el acceso de los agricultores familiares a conocimientos que contribuyan a la planificación y aumento de la producción. La región también está marcada por la vulnerabilidad al clima (largos períodos de sequías), a la desertificación (pérdida de la capacidad productiva de las tierras) e institucional (falta de capacidad de los municipios para abordar problemas ambientales complejos, como la adaptación a la sequía y el cambio climático). De la convergencia de esas vulnerabilidades ambientales con las vulnerabilidades socioeconómicas en los municipios de la región, se expresa la falta de capacidad institucional, en el ámbito local, en el proceso de gestión del riesgo de las sequías.

El panorama histórico de las principales políticas en el Semiárido brasileño, como respuesta gubernamental a los eventos de sequía, puede contribuir a una apreciación crítica más cualificada en cuanto a la identificación y superación de los actuales desafíos a la gestión del riesgo de las sequías en Brasil. La definición de estrategias adecuadas para la adaptación a las sequías es fundamental para fortalecer las capacidades de los actores esenciales desde el punto de vista político y científico, para tornar el Semiárido brasileño menos vulnerable en el siglo XXI y mejor adaptado al cambio climático.

CHILE

AUTORES

Jorge Nuñez Cobo[1],[2] Rene Garreaud[3] y Koen Verbist[4]

[1] Centro del Agua para Zonas Áridas de América Latina y el Caribe (CAZALAC), Benavente 980, La Serena Chile

[2] Departamento Ingeniería de Minas, Universidad de La Serena, Benavente 980, La Serena, Chile

[3] Departamento de Geofísica, Facultad de Cs. Físicas y Matemáticas, U. de Chile
Av. Blanco Encalada 2002, Santiago, Chile

[4] UNESCO Programa Hidrológico Internacional, 7 Place Fontenoy, Paris, Francia.

© UNESCO/Koen Verbist

Introducción

CHILE ES UN PAÍS CON UNA CAPACIDAD AÚN EN DESARROLLO PARA PREVENIR Y responder adecuadamente a los impactos de desastres, tal como lo han reconocido diversos estudios de carácter nacional e internacional (UNISDR, 2010; UNESCO, 2012; Arenas *et al*, 2010; Meza *et al*, 2011; FAO, 2014; CNID, 2016; Camus *et al*, 2016). Al mismo tiempo, el país ha presentado una vulnerabilidad media frente a los impactos del cambio climático, conforme lo establece el último reporte (2018) del Índice de Riesgo Climático Global para el periodo 1997-2016, elaborado por la organización Germanwatch (Germanwatch, 2018).

Por sus características geográficas y geológicas, el territorio chileno está expuesto a la ocurrencia frecuente de terremotos, tsunamis, inundaciones, sequías, incendios forestales, deslizamientos, marejadas, trombas marinas y, más recientemente, a fenómenos como la "marea roja" (UNESCO, 2012; CNID, 2016; ONEMI, 2016). Dentro de este listado, y en el contexto de los impactos esperados de la variabilidad y cambio climático en el territorio nacional, destacan aquellos de naturaleza hidrometeorológica, particularmente el fenómeno de la sequía, correspondiente al segundo tipo de desastre—después de los temporales— que concitó el mayor número de decretos de Zona de Catástrofe en Chile por parte del Ministerio del Interior en el periodo 1984-2013 (Henríquez *et al*, 2016).

La sequía ha sido, es y, muy probablemente, seguirá siendo uno de los más importantes desastres socio-naturales, en la terminología que algunos autores han adoptado recientemente en Chile (Arteaga y Tapia, 2014), que afectan a la sociedad y al ambiente en gran parte del mundo, tanto en términos de personas fallecidas como de personas afectadas (Adikari y Yoshitari, 2009). Un hecho objetivo es que este fenómeno causó más de la mitad de las muertes asociadas a desastres socio-naturales en todo el mundo durante el siglo 20 y fue, después de las inundaciones, la causa más importante de personas afectadas (Below *et al*, 2007). Solo considerando el año 2015 más de 50 millones de personas en el mundo se vieron afectadas por la sequía de acuerdo con la Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNISDR, 2015). La sequía es además un fenómeno complejo y usualmente de lento desarrollo, comenzando con un déficit agudo y/o prolongado de precipitaciones que puede ser exacerbado por un aumento de evapotranspiración. La sequía meteorológica da rápidamente origen a una disminución de caudales y escorrentía (sequía hidrológica) y eventualmente a una marcada caída en la humedad del suelo y aguas subterráneas (sequía agronómica). Además, este proceso conocido como "propagación de la sequía", puede verse modificado significativamente por otros procesos de naturaleza antropogénica, como ha sido recogido recientemente por Van Loon *et al* (2016) y Wang *et al* (2016).

Chile no ha sido inmune a la amenaza de la sequía a lo largo de toda su historia documentada (Mackena, 1887; Aldunce y González, 2009; Núñez, 2013; Garreaud *et al*. 2017) y tampoco ha estado al margen de la tendencia por hacer de la vulnerabilidad ante sus impactos un concepto operacional y elemento de gestión del riesgo de desastres. Dada su posición geográfica, gran parte del territorio nacional es estructuralmente vulnerable a la sequía (Núñez *et al*, 2016). Esta vulnerabilidad ha sido reconocida, a nivel de Gobierno, al señalar en la Contribución Nacional Tentativa de Chile (INDC) para el Acuerdo Climático Paris 2015 que, en

el contexto del Cambio Climático "... se espera un aumento en la frecuencia y magnitud de eventos extremos tales como las sequías...". Igualmente, la sequía, como amenaza, ha sido ampliamente reconocida en una serie de informes oficiales elaborados por agencias nacionales (Política Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (ONEMI, 2014), Plan de Acción Nacional de Cambio Climático 2017-2022 (MMA, 2017)) e internacionales (Dilley *et al*, 2005; FAO, 2010; UNISDR, 2010; CEPAL, 2012; BID, 2016).

CONTEXTO CLIMÁTICO DE LAS SEQUIAS EN CHILE

La zona central de Chile (entre las regiones de Coquimbo y el Biobío, 30-37ºS) concentra más del 70% de la población nacional y presenta un clima mediterráneo, con las precipitaciones mayormente restringidas a los meses de invierno y acumulaciones promedio que varían entre 100 y 1000 mm/año a lo largo de la costa y valles interiores. Esta condición semiárida resulta en buena parte de la presencia semi permanente del anticiclón subtropical del Pacifico (ASP) el cual es perturbado solo ocasionalmente por sistemas frontales cuyo tránsito es mucho más frecuente en latitudes medias (al sur de los 40ºS). Diversas anomalías climáticas pueden reforzar o debilitar el ASP causando una marcada variabilidad interanual de la precipitación en Chile central (Montecinos *et al*, 2011) las cuales tienden a ser coherentes a largo de esta región (Garreaud *et al*, 2017).

El fenómeno El Niño – Oscilación del Sur (ENOS) es el modo de variabilidad natural que tiene el mayor impacto en nuestro país y durante su fase fría (La Niña) tienden a ocurrir condiciones deficitarias de precipitación en Chile central. Por el contrario, la fase cálida (El Niño) tiende a producir superávit de precipitaciones. Esta relación frío/seco (cálido/lluvioso) ha sido ampliamente documentada (e.g., Aceituno 1988; Montecinos & Aceituno 2003; Garreaud *et al*, 2009), aunque tal relación se ha deteriorado a partir del año 2000.

La precipitación en Chile central también exhibe variaciones asociadas a fenómenos de baja frecuencia, especialmente a la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO por sus siglas en Inglés). Consistente con la estructura "tipo-El Niño" de la PDO (e.g., Garreaud & Batisti 1999) su fase fría (cálida) tiende a producir periodos prolongados que son –en promedio- más secos (lluviosos) que la media histórica (Masiokas *et al*. 2006; Garreaud *et al*. 2009) y durante los cuales aumenta la probabilidad de tener sequías significativas (Núñez *et al*, 2013; González-Reyes, 2016, Boisier *et al*, 2016). En una perspectiva de más largo plazo, el incremento de los gases con efecto invernadero y la disminución del ozono estratosférico son capaces de reforzar el ASP y desplazar al sur la trayectoria de tormentas (el lugar preferente de los sistemas frontales y depresiones) (Arblaster *et al*, 2011). Lo anterior es la causa fundamental de las proyecciones de un clima más seco sobre Chile central a medida que transcurre el resto del siglo XXI.

LA OCURRENCIA DE EVENTOS DE SEQUÍA EN CHILE CENTRAL

Chile, a lo largo de toda su historia, se ha visto frecuentemente impactado por eventos de sequía de diversa severidad, intensidad y duración (Aldunce y González, 2009; Garreaud *et al*. 2017), razón por la cual este fenómeno ha sido incluido en una variedad de informes y estudios relacionados con la Gestión del Riesgo de Desastres en el país (Arenas *et al*, 2010; UNISDR, 2010; UNESCO, 2012; CR2, 2015; ONEMI, 2016; CNID, 2016). A modo de ejemplo, la Figura 21 muestra la ocurrencia histórica de eventos de sequía en Chile central para el periodo 1661-2017. Dicha ocurrencia se ha proyectado sobre la evolución histórica de la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO) – medida en términos del Índice PDO con datos del Instituto Conjunto para el Estudio de la Atmósfera y el Océano de la Universidad de Washington (JISAO) para 1900-2017 y extendidos hasta mediados del siglo XVII a partir de la reconstrucción de Biondi *et al*. (2001). Igualmente se presentan los datos del Índice Niño 3.4 ATSM con datos del HadISST1 (Rayner *et al*, 2003) para 1900-2017 y extendidos hasta mediados del siglo XVII a partir de la reconstrucción de Li *et al*. (2013)–Destacan, en el registro histórico, tres eventos de sequía ocurridos en los últimos 100 años con importantes consecuencias económicas, sociales y ambientales, como son las denominadas sequía del ´68, sequía del ´98 y la actual

megasequía que comenzó el año 2010. Estos tres eventos se suman a la larga historia de sequías en Chile, las que fueron reseñadas por don Benjamín Vicuña Mackenna en su "Ensayo Histórico del Clima de Chile" de 1887. Como se comentó previamente, la figura permite apreciar un cierto grado de asociación entre la ocurrencia de sequías en Chile central y las fases frías de la PDO y ENSO (Núñez *et al*, 2014; Garreaud *et al*. 2009; González-Reyes, 2016), aunque sequías importantes también pueden ocurrir durante las fases neutras e incluso cálidas de estos fenómenos, como el año 2015.

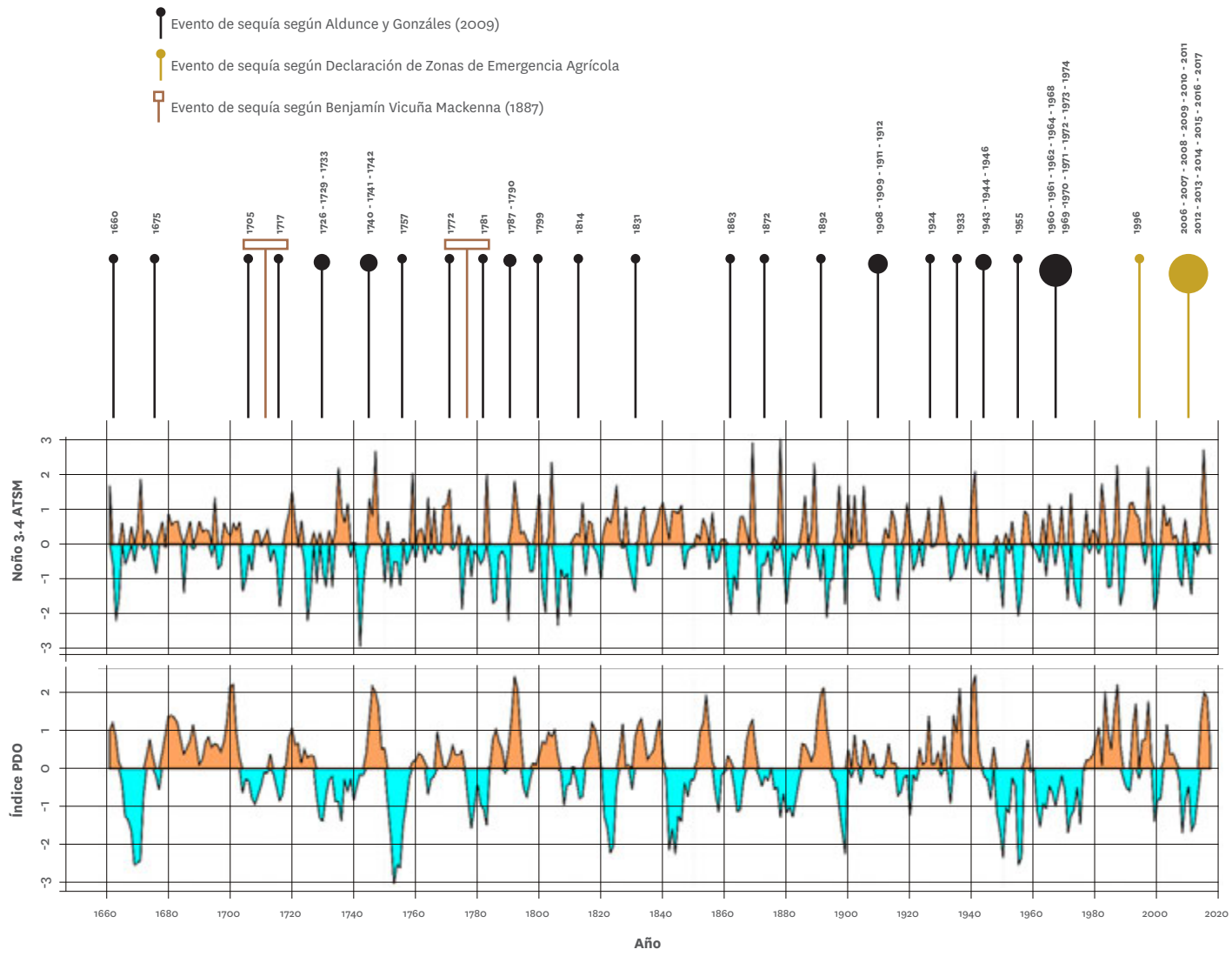


FIGURA 21.

Evolución histórica de sequías reportadas en Chile respecto de la variabilidad temporal de la Oscilación Decadal del Pacífico y Niño 3.4 ATSM para el periodo 1661-2017. Reporte de Sequías elaborado a partir de Aldunce y González (2009), Mackenna (1887) y Declaración de Zonas de Emergencia Agrícola.

LOS IMPACTOS DE LA SEQUÍA EN DIFERENTES SECTORES

El registro histórico de la ocurrencia de sequías en Chile da cuenta del importante impacto que algunos eventos han tenido en las dimensiones económicas, sociales y políticas en el país, particularmente en los sectores agrícola y forestal, suministro de agua potable, energético, y ambiental. Una de las primeras sequías de importancia la reseña Vicuña Mackenna (1887) en términos de "la seca de Juan de Mañosca"— refiriéndose al evento de 1637-1639— y destaca los efectos que dicho evento tuvo sobre la incipiente actividad exportadora de cordobanes y grasa desde Chile a Lima. El mismo efecto es descrito por Espinoza (1985) y Astaburuaga (2004) para la sequía de 1770-1782, que alternó tres años secos con nueve extremadamente secos, al indicar, precisamente, que "cuando hubo demandas de pastos para la ganadería orientada a exportar sebo para el alumbrado público de Lima (Perú), la ausencia de lluvias en los interfluvios comenzó a tener un significado económico". En el mismo contexto, y de acuerdo con Mackenna (1887), la sequía de 1717 dio el impulso definitivo, durante el gobierno de don Gabriel Cano de Aponte (1717-1733) para que una comisión especializada iniciase el primer proyecto del Canal San Carlos, que permitiría encausar las aguas del Río Maipo y trasladarlas a Santiago. Fue a consecuencia de la sequía de 1770-1782 que finalmente se iniciarían las obras de construcción (Astaburuaga, 2004). A la posteridad, el Canal San Carlos se convertiría en un referente para la gestión privada del agua en Chile, seguido por una serie de obras similares a mediados del siglo XIX con un importante impacto económico y social a lo largo de las zonas central y centro-norte del país (Mackenna, 1887; Camus *et al*, 2016). En este sentido, y tal como lo ha reseñado Sandoval (2003) en su breve historia del riego en Chile, la sequía ha sido parte consustancial a la historia de la infraestructura hídrica en el país. A modo de ejemplo, considérese el "Sistema Paloma", constituido por los embalses Recoleta, Cogotí y Paloma más una extensa red de canales de regadío, construido entre las décadas del 20' y 60' y ubicado en la Provincia del Limarí, en Chile centro-norte, ampliamente utilizado como caso de estudio en investigación sobre mercados de agua (Bauer, 2004; Hadjigeorgalis, 2008). De acuerdo con Ferrando (2002), el proyecto de construcción de los embalses Recoleta y Cogotí proyectaba incorporar 27.000 ha de riego, pero diversos problemas, incluida lo que el autor llama "aleatoriedad climática" llevaron a que el primer embalse llegara a regar sólo 8.500 de las 15.000 ha proyectadas. Para el segundo embalse, en el año 1967, este solo era capaz de regar 4.500 de las 12.000 ha originalmente proyectadas. Este efecto, contingente en su momento, se convirtió a la larga en una condición estructural del modelo de gestión del Sistema por cuanto, como fue descrito por Cortés (1997), los derechos de aprovechamiento de aguas que correspondían originalmente a los embalses Recoleta y Cogotí debieron ser a la postre entregados por una fuente de abastecimiento distinta: El Embalse Paloma. Un ejemplo más reciente, y a propósito de la mega-sequía en Chile central que será analizada a continuación, es la influencia directa que este evento tuvo en la modificación y aprobación de un nuevo convenio de operación del Lago Laja—el embalse natural más grande de Chile y fuente de uno de los sistema hidroeléctricos más importantes del país—, cuya versión anterior correspondía al Convenio de Riego Ad-Referéndum sobre la regulación del Río Laja de 1958 (Arumí, J.L., Comunicación Personal), confirmando de esta forma la apreciación señalada de Sandoval (2003) respecto del rol que la sequía ha tenido en la infraestructura y gestión hídrica de Chile, consistente, por lo demás, con el denominado ciclo hidro-ilógico (Wilhite, 2012).

Son, a propósito de lo descrito, tres eventos de sequía, uno a mediados del siglo XX y dos más recientes a fines del siglo XX e inicios del XXI, respectivamente, de los que se dispone de mejores antecedentes sobre sus causas y evolución, así como de sus impactos, tanto hidrológicos, como económicos y sociales.

a) LA SEQUÍA DEL 68'

La denominada sequía del 68', cuya mayor intensidad se extendió entre los años 1967-1969, fue considerada en su momento como la peor sequía en 100 años. El déficit de lluvia el año 1968 alcanzó el 80% en Santiago y 50% en Chillán, aunque las extremas anomalías del régimen pluviométrico y consecuentemente de todo el ciclo hidrológico, abarcó prácticamente la totalidad del territorio nacional (Figura 22; Espíldora, 1970). Estos tres años de sequía se enmarcan en un periodo frío de la PDO y el año más seco, 1968, corresponde a una transición entre una Niña moderada y una condición neutra de ENOS (Figura 21 y Figura 23). Al

igual que otros eventos, el déficit de precipitación se explica por el reforzamiento del ASP y una menor frecuencia de sistemas frontales afectando Chile central (Figura 23).

La sequía afectó un total de 6 millones de hectáreas y se extendió por once provincias, desde las actuales regiones de Atacama, por el norte hasta la del Bío-Bío, por el sur. Los principales embalses quedaron virtualmente secos y el déficit hídrico se hizo notar en el sector energético (CNID, 2016). Lo anterior impulsó la adopción del sistema de ajuste a la hora oficial de Chile para la determinación del horario de verano que rige en el país hasta la actualidad (CDC, 2015). Los cultivos de cereales y hortalizas, así como la ganadería, sufrieron graves daños y se calcula que entre 225.000 y 450.000 personas quedaron desempleadas a raíz de esto, con un costo estimado en cerca de US$ 1000 millones (UNESCO, 2012).

b) LA SEQUÍA DEL 98'

Un segundo evento, importante por su intensidad, severidad y duración es la denominada sequía del 98'. Esta incluye los años 1994, 1995, 1996 y 1998. Notablemente este periodo seco fue interrumpido el año 1997 por uno de los inviernos más lluviosos del registro histórico, 1997, en conexión con el desarrollo de El Niño del siglo (McPhaden, 1999; Quintana, 2000). El año 1998 fue el más seco de esta sequía, con déficit pluviométricos del 73% y 55% en Santiago y Chillán, respectivamente (Figura 22). En contraste con el evento de fines de los 60, esta sequía ocurrió durante la fase cálida de la PDO, pero durante años La Niña moderados (1995, 1996) e intensos (1998). Nuevamente, todo este periodo estuvo caracterizado por el reforzamiento del ASP y el paso de sistemas frontales por la zona sur-austral de Chile (Fig. 23).

De acuerdo con Aldunce y González (2009), durante este evento, en las regiones de Atacama y Coquimbo en la zona norte de Chile, el ganado caprino murió por la falta de alimento debido a las lluvias, hubo pérdidas por la baja producción lechera y quesera además de otros productos agrícolas, lo que llevó a que se esta zona se declarara Zona de Emergencia Agrícola. En la Región de Los Lagos, al sur del país, hubo escasez de agua para consumo humano y para riego, las altas temperaturas hicieron escasear los recursos disponibles y no había agua disponible en el único embalse de la ciudad de Ancud, en Chiloé. En 1995 continuaron los efectos de la sequía en las regiones del norte, y en la Región de Valparaíso se debió racionar el agua potable. Hacia 1998, la falta de agua produjo un menor desarrollo de las plantaciones de frutas, afectando la producción del año siguiente. El calibre de las frutas fue menor, y aumentó la sensibilidad a plagas y enfermedades; el impacto en el sector frutícola de exportación se tradujo en pérdidas por millonarias. Todo lo anterior llevó a calificar a 1998 como el tercer año más seco del siglo (Aldunce y González; 2009). En total, al menos 602.000 hectáreas de todo tipo de cultivos se vieron afectadas sólo en 1998 (SNA, 1998), y las pérdidas en la producción agrícola y ganadera fueron del orden de los US $250 millones en el período comprendido entre 1994 y 1997 con cifras cercanas a los US $203 millones sólo en el sector frutícola en 1996. Finalmente, la sequía de este año resultó concurrente con la crisis eléctrica de 1998 aunque de acuerdo con Díaz et al (2000), esta última no fue consecuencia inevitable de la escasez causada por la sequía, aunque los mismos autores concluyen que, sin la falla de Nehuenco [central termoeléctrica de ciclo combinado] y la sequía extrema, la crisis [eléctrica] no hubiera ocurrido.

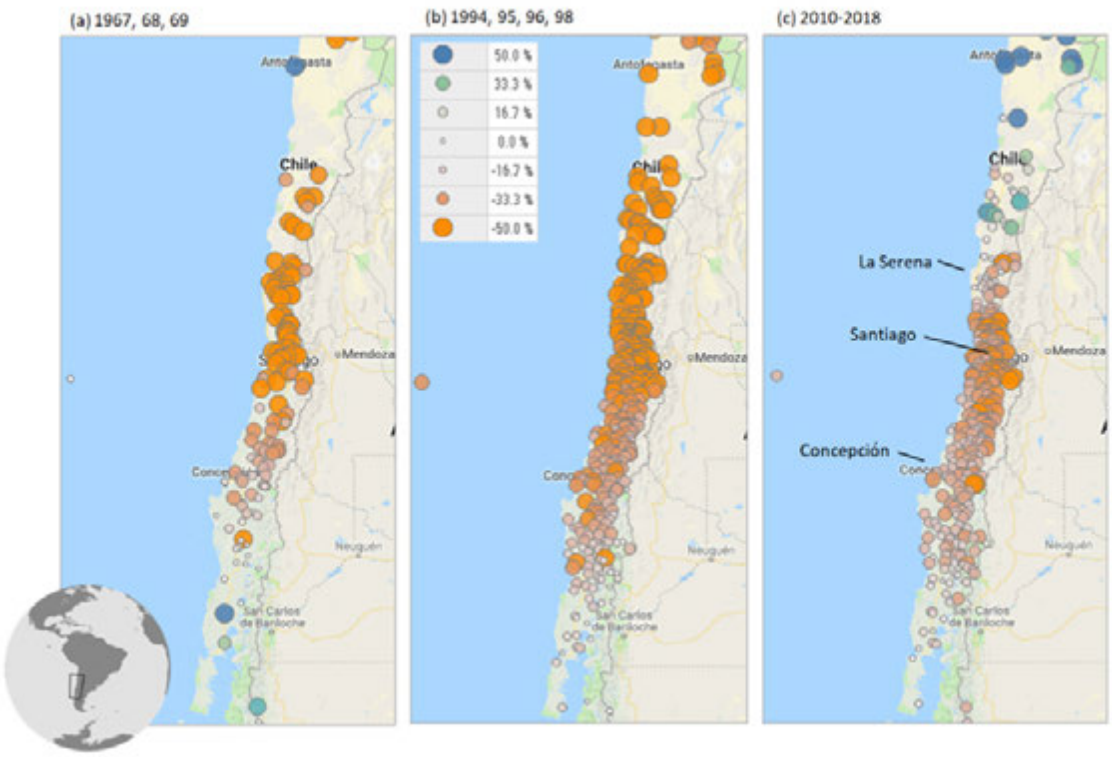


FIGURA 22.

Anomalías de precipitación anual para los tres grandes eventos de sequias contemporáneas en Chile central, empleando estaciones de la Dirección General de Aguas y la Dirección Meteorológica de Chile. Para cada estación y año, las anomalías se calculan como el desvió respecto al valor climatológico, dividido por el valor climatológico (1970-2000), y posteriormente se promedia durante el evento de sequía. La escala de colores es común para los tres eventos.

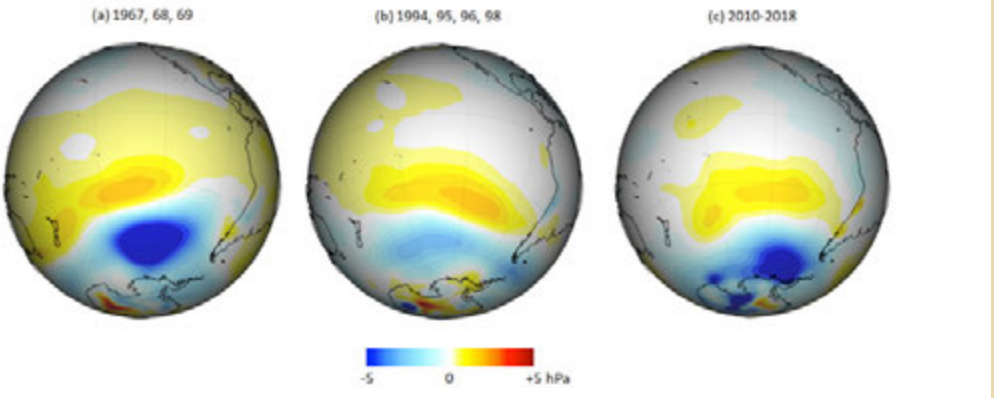


FIGURA 23.

Anomalías promedio de presión a nivel del mar considerando los meses de invierno (Mayo-Septiembre) durante los años de los tres grandes eventos de sequías contemporáneas en Chile central.

c) LA ACTUAL MEGASEQUÍA (2010-)

El evento más reciente y del cual se tienen mayores antecedentes es la denominada "megasequía de Chile central". El nombre fue propuesto por investigadores del Centro del Clima y la Resiliencia (CR2) en el marco de documento titulado "Informe a la Nación: La megasequía 2010-2015. Una lección para el futuro" (CR2, 2015). El propósito del informe fue aportar al "entendimiento de las causas y consecuencias junto a un análisis crítico de la manera en que la sociedad y el Estado han respondido a este evento". El informe fue escrito a mediados del 2015 cuando la condición seca ya cumplía 5 años y aparecía como un evento anómalo debido a su prolongada duración. Sin embargo, las condiciones secas se han mantenido en gran parte de Chile central (en especial entre la Región Metropolitana y el Biobío) hasta el momento de escribir este trabajo (Figura 23; Garreaud 2017).

De acuerdo con el estudio del CR2, las regiones entre Coquimbo y la Araucanía experimentaron, entre 2010-2015 un déficit hídrico aproximado del 30%. La duración y extensión territorial de dicho evento no era observada desde mediados del siglo XX, desde la sequía del 68', y con la adición de los años 2016, 2017 y 2018, supera largamente cualquier otro evento durante el registro pluviométrico histórico. Incluso, la duración de la megasequía tiene pocos análogos en una reconstrucción de mil años de la precipitación en Chile central (Garreaud *et al*. 2017) En adición a su longevidad, la mega sequía registra una extensión mayor a otros eventos, con un porcentaje más alto de estaciones en condición de sequía (75% versus 59%), es concurrente con la década más cálidas registrada en Chile central, y se superpone a una mayor demanda hídrica (Garreaud *et al*. 2017). Por otro lado, ningún año de la mega sequía ha experimentado déficits tan marcados como 1968 o 1998.

Desde un punto de vista climático, la actual mega sequía también presenta rasgos diferentes a los eventos previos aunque comparte el reforzamiento del ASP (Figura 23). Solo la primera parte de este evento coincide con la fase fría de la PDO pero incluso en ese periodo, la anomalía pluviométrica observada es bastante superior a la esperada en base al forzamiento del océano. Con excepción de La Niña el 2010, el resto de los años de la megasequía han sido neutros en cuanto a la señal de ENOS e incluso el año 2015 fue un intenso evento de El Niño –similar a 1997- que no trajo las esperadas lluvias a Chile central. Todo lo anterior sugiere la concurrencia de otros factores en la mantención de la actual mega sequía, sumado probablemente a la aparición de la señal del cambio climático de origen antropogénico que precisamente contribuye a reforzar el ASP (Boisier *et al*. 2016).

Los impactos de la megasequía, por su parte, se asocian, entre otros, a a) fuerte reducción en la disponibilidad de agua (un 70% de déficit en los caudales medios en las regiones de Coquimbo y Valparaíso) y disminución progresiva en los niveles de aguas subterráneas, b) fuerte reducción en el aporte de nutrientes provenientes de los ríos hacia los sistemas costeros, c) notable deterioro de la vegetación no irrigada en Chile central, d) incremento de un 70% en la superficie forestal quemada y e) la promulgación de un número significativo de Decretos de Escasez Hídrica por parte de la Dirección General de Aguas. De hecho, sólo entre 2008 y 2013 se emitieron, de acuerdo con Núñez *et al* (2014) 417 Declaraciones de Emergencia Agrícola por Sequía por parte del Ministerio de Agricultura y 43 Declaraciones de Escasez Hídrica por parte del Ministerio de Obras Públicas. De manera independiente, además, el Ministerio del Interior emitió 9 decretos de Zona de Catástrofe por sequía en el mismo periodo. Todo lo anterior, sin mencionar el hecho de que, en las mismas circunstancias, se presentaron 42 proyectos de Ley al Senado de Chile vinculados al tema hídrico, en tanto que en todo el periodo desde el retorno a la Democracia (1990) hasta el 2007 sólo se habían presentado 29 proyectos. Esto es, un promedio de 7 proyectos por año para el periodo de sequía respecto de 0.05 proyectos por año para el periodo anterior (Núñez, 2015)

LA FRECUENCIA DE SEQUÍAS EXTREMAS EN CHILE CENTRAL

Dada su condición geográfica, un 52% de Chile continental presenta un régimen hídrico que va de xérico a semiárido (UNESCO, 2010). Lo anterior se ve reflejado en la alta recurrencia de eventos de sequía en gran parte de Chile central y centro-norte (Núñez *et al*, 2011; Núñez *et al*, 2016). En efecto, tal como lo indica

CR2 (2015) en su Informe a la Nación y Garreaud *et al*. (2017), sequías de uno o dos años han afectado de manera recurrente la zona central de Chile durante su historia, asociadas a variaciones climáticas de origen natural. Existe un marcado contraste, sin embargo, respecto de la distribución espacial a lo largo del país de las sequías consideradas extremas. El conocimiento respecto de la frecuencia de estos eventos, , así como su expresión en términos del Periodo de Retorno— también llamado intervalo de recurrencia media— constituyen insumos básicos de un sistema de gestión de riesgo de sequía, en particular, y de gestión del riesgo de desastres, en general.

Lo anterior queda de manifiesto en mapas específicos generados por el Atlas de Frecuencia de Sequías de América Latina y el Caribe, para el caso de Chile. La Figura 24a, por ejemplo, muestra los montos anuales de precipitación esperada para una sequía considerada leve —aquella que ocurre una vez cada dos años en promedio. Los montos de precipitación asociados varían entre 78 y 1650 mm entre las regiones de Coquimbo, por el norte (Lat 30°S) y la región de los Lagos por el sur (Lat 41°S). Para una sequía considerada extrema (Figura 24b), en cambio, equivalente a aquella que ocurre en promedio una vez en 100 años, la precipitación asociada varía entre los 15 y 980 mm a lo largo de la misma extensión. Estos valores absolutos corresponden a reducciones en la precipitación anual que alcanzan el 80% en la zona norte y el 60% en la zona sur. Estas cifras se corresponden, justamente, con aquellas ocurridas durante los tres eventos de sequía más significativos registrados durante los últimos años en gran parte de Chile central durante el último siglo.

Cuando el interés se centra en el periodo de retorno, en cambio, el Atlas muestra que mientras sequías leves (Figura 24c)—equivalentes a un 10% de déficit respecto de la precipitación media anual— tienen periodos de retorno entre 2 y 3 años a lo largo de Chile continental, aquellas correspondientes a un 40% de déficit (Figura 24d) presentan periodos de retorno en torno a los 10 años en la zona norte pero superiores incluso a 100 años en la zona sur. Lo anterior da cuenta de una importante variabilidad espacial de la dimensión de exposición a los eventos de sequía en el país, así como del rol que herramientas de análisis de frecuencia de sequías puede tener en el contexto de un Sistema de Gestión de Riesgo de Desastres.

© Pixabay/Iva Balk, CCo Creative Commons

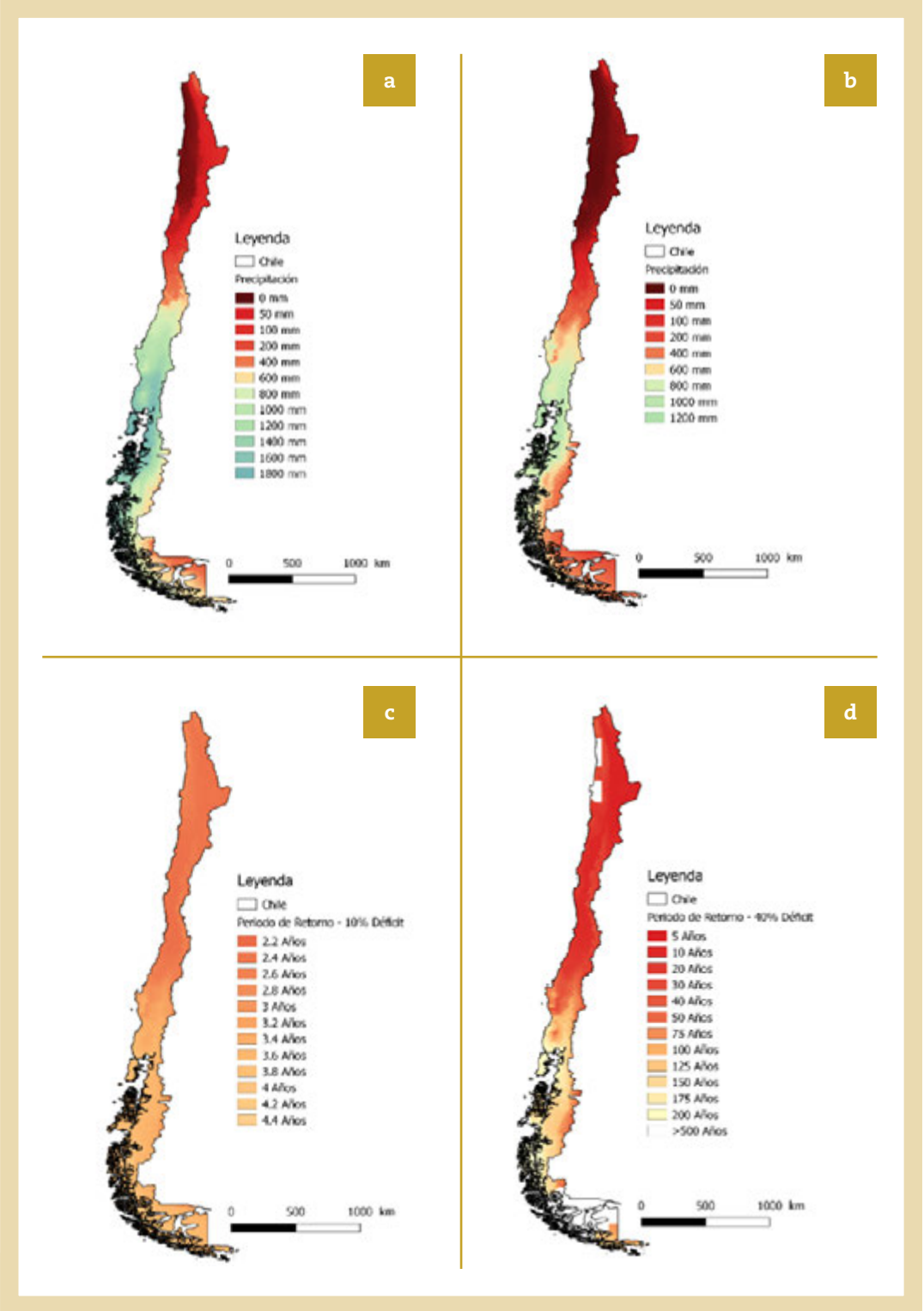


FIGURA 24.

Mapas de precipitación anual esperada para una sequía esperada en a) 1 en 2 años y b) 1 en 100 años. Mapas de periodo de retorno para una sequía equivalente a un c) 10% de déficit y d) 40% de déficit.

LA GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES POR SEQUÍA EN CHILE

De acuerdo con la Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción de Riesgo de Desastres, citado por CNID (2016), en promedio, cada año entre 1980 y 2011, Chile registró pérdidas cercanas al 1,2% de su PIB debido a desastres de origen natural. Sin embargo, los mismos estudios establecen que por cada 1 dólar invertido en prevención, el país se ahorra 7 dólares en respuesta y reconstrucción, dejando en evidencia la necesidad de contar con capacidades que permitan mejorar la Gestión del Riesgo de Desastres (GRD) (UNISDR, 2010).

El análisis retrospectivo de las principales iniciativas impulsadas en el país para mejorar la GRD, derivado de las amenazas naturales que le afectan, muestra que éstas han sido esencialmente reactivas (Camus *et al*, 2016). Solo en la última década y posterior al terremoto tsunamigénico de 2010, el país ha dado pasos para la adopción de un enfoque prospectivo en la gestión de desastres. Tal como ya lo indicaba el Diagnóstico de la Situación de la Reducción del Riesgo de Desastres en Chile elaborado por las Naciones Unidas en 2010 (UNISDR, 2010), era preciso "aprovechar la coyuntura y la voluntad existente para reformular la arquitectura nacional de gestión de riesgos de desastres". Esta nueva arquitectura debería —concluía el mismo Diagnóstico— considerar algunas tareas pendientes vinculadas a la construcción de un enfoque integral de la reducción del riesgo de desastres, que supere la visión emergencista y reactiva del actual marco (UNISDR, 2010).

Una de las principales características del marco actual ha sido, precisamente, su carácter fragmentario y desarticulado. La Gestión del Riesgo de Sequías (GRS) no ha sido la excepción en este aspecto. Tal como lo señala FAO (2014, 2017), hasta el año 2008, el país no había implementado una política de gestión del riesgo en el sector silvoagropecuario—uno de los más impactados por este fenómeno socionatural. Según la CEPAL y el BID (citados por FAO (2014)), al año 2007 se constataba una carencia de política del Ministerio de Agricultura (MINAGRI) específicamente orientada a la prevención de desastres. El MINAGRI no poseía una estructura de organización para actuar frente a emergencias; la respuesta ministerial se hacía a través de sus distintos servicios, en relación con sus funciones habituales.

Este grado de fragmentación y desarticulación de la GRS en el país se visualiza de mejor forma al observar el Paisaje Institucional de la Sequía en Chile (Figura 25). El mismo da cuenta de la diversidad de entidades públicas, instrumentos de gestión y actores de naturaleza eminentemente política y/o técnica vinculados a la respuesta institucional del país frente a los eventos de sequía así como los potenciales destinatarios de dichas respuestas. En efecto, tanto el reconocimiento oficial de una condición de sequía que afecta al país, así como los mecanismos de respuesta para hacer frente a dicha condición recaen fundamentalmente en cuatro Ministerios, cuales son, los Ministerios del Interior y Seguridad Pública, de Agricultura, de Obras Públicas y de Energía. Lo anteriormente dicho queda refrendado en el hecho, por ejemplo, de que en el periodo 2008-2013, se emitieron 417 Declaraciones de Emergencia Agrícola por Sequía por parte del Ministerio de Agricultura, 43 Declaraciones de Escasez Hídrica por parte del Ministerio de Obras Públicas, así como 9 Decretos de Zonas de Catástrofe por sequía emanados del Ministerio del Interior. En más de un caso, como los números hacen suponer, se constató el hecho de que una zona determinada del país fuese calificada como afectada oficialmente por sequía, en conformidad con un Ministerio, sin que ello implicase la concurrencia del resto de las entidades públicas con competencia para la proclamación de dicha condición.

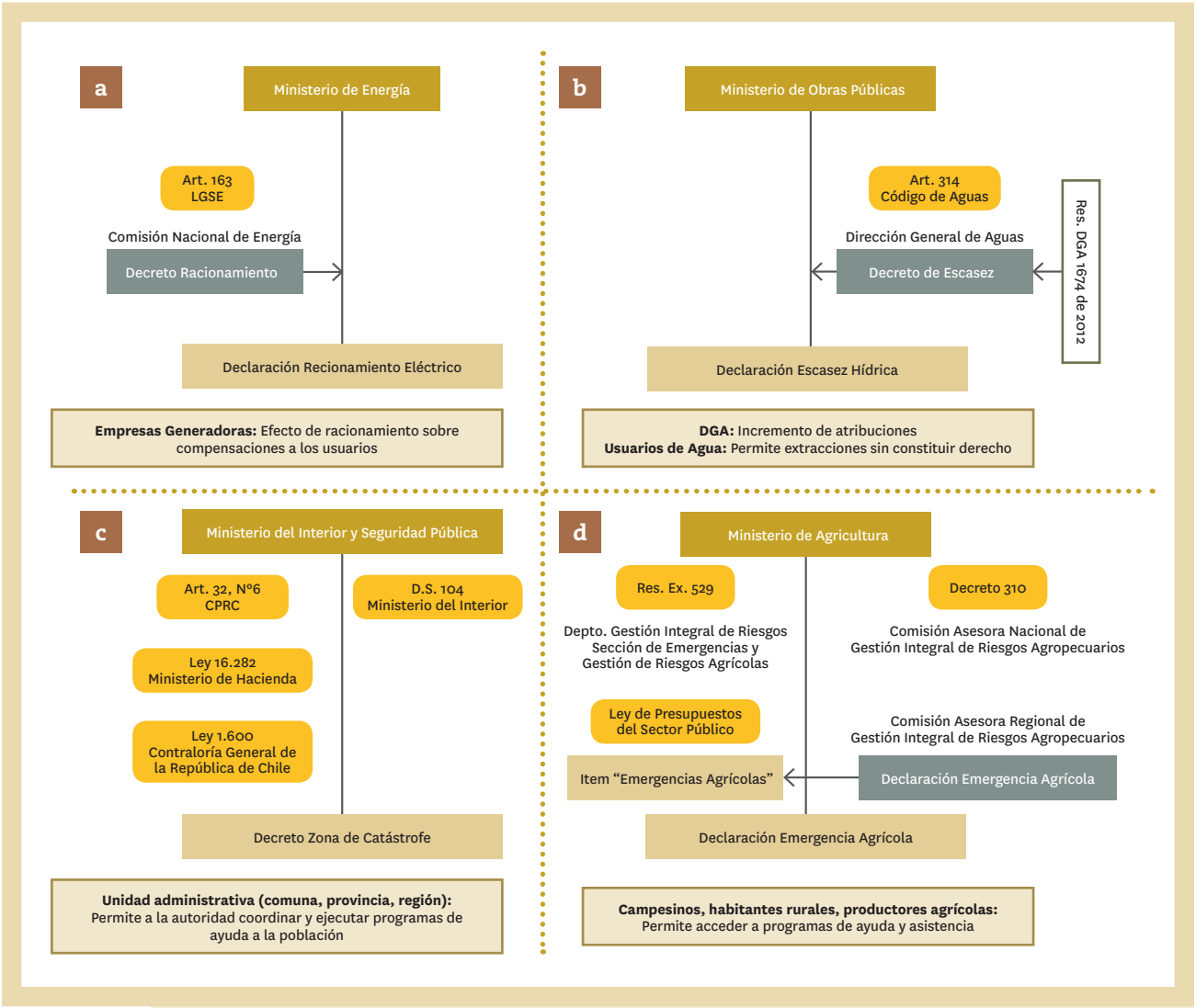


FIGURA 25.

Paisaje institucional de la sequía en Chile. LGSE: Ley General de Servicios Eléctricos; D.G.A.: Dirección General de Aguas; CPRC: Constitución Política de la República de Chile; D.S.: Decreto Supremo; Res.Ex: Resolución Exenta

Un aspecto a mencionar respecto del Paisaje Institucional de la Sequía en Chile es que éste se refiere únicamente a las instituciones que, a través de la vía administrativa, mediante un Decreto o Resolución Exenta, califican una determinada condición climática-hidrológica como "sequía". Podría denominarse esta condición como "sequía oficial", la cual gatilla de este modo determinados mecanismos de respuesta institucional. En términos simples, esta sequía oficial formaría parte de la vía reactiva en el contexto de las GRD en general, y GRS en particular. No se consideran aquí, por lo mismo, un sin número de actores relevantes y mecanismos de respuesta que, desde el ámbito público como privado, ejecutan programas o acciones de respuesta frente a la ocurrencia de un evento de sequía (reactivo) o en la prevención del mismo (prospectivo). Una descripción general de dichos actores, así como su tipología y escala territorial sobre la que operan ha sido recientemente sistematizada por Aldunce *et al* (2015).

Es importante destacar el hecho de que las diversas entidades públicas (Ministerios) consideradas en el Paisaje Institucional de la Sequía en Chile han mostrado progresos relativos, durante la última década, en su transición hacia un enfoque prospectivo en la GRS. La Figura 26 presenta, al respecto, la evolución

institucional-normativa de la GRS para los cuatro ministerios considerados, lo que permite caracterizar dicha evolución en los siguientes términos:

En el caso del Ministerio de Energía, por ejemplo, se dispone de la norma administrativa conocida como Decreto de Racionamiento, en conformidad con el Artículo 163 y siguientes de la Ley General de Servicios Eléctricos de 2006 (Actual DFL 4/20018), el cual establece que "El Ministerio de Energía, previo informe de la Comisión Nacional de Energía, podrá dictar un decreto de racionamiento, en caso de producirse o proyectarse fundadamente un déficit de generación en un sistema eléctrico, a consecuencia de fallas prolongadas de centrales eléctricas o de situaciones de sequía". Este artículo, en espíritu, forma y fondo, no ha variado significativamente respecto del Artículo 99 bis de la Ley General de Servicios Eléctrico del año 1959.

En el caso del Ministerio de Obras Públicas, la Dirección General de Aguas (DGA)— servicio público dependiente de dicha Cartera— tiene la potestad de calificar, mediante resolución, las épocas de sequía que revistan el carácter de extraordinarias. Dicha calificación, tal como lo establece el artículo 314 del Código de Aguas de Chile, es requerida para que el Presidente de la República, a petición o con informe de la misma DGA, pueda, en épocas de extraordinaria sequía, declarar zonas de escasez. Este artículo, en forma y fondo, aparece por primera vez explicitado en términos del Artículo 101 de la Ley de Reforma Agraria de 1967, coincidente con la creación, en ese mismo cuerpo legal, de la Dirección General de Aguas. En términos operativos, hasta el año 2012, la resolución que permitía a la DGA calificar las épocas de sequía extraordinaria correspondía a la Resolución DGA N° 39, de febrero de 1984, la cual quedó sin efecto y fue reemplazada por la Resolución DGA N° 1674 de 2012. Esta última utiliza como criterio para el procedimiento de calificación, la información derivada del análisis de los denominados Índices Estandarizados de Sequía, ampliamente recomendados a nivel internacional, desde 2010, por la Organización Meteorológica Mundial (WMO, 2012).

Respecto del Ministerio del Interior, la Oficina Nacional de Emergencia de Ministerio del Interior y Seguridad Públicas (ONEMI), dependiente de esta Cartera, ha liderado la constitución en el país de la Plataforma Nacional para la Reducción del Riesgo de Desastres, en el marco de los compromisos del Chile frente al Marco de Acción de Hyogo 2005–2015. Consecuentemente, el 16 de diciembre del 2014 el Subsecretario del Interior presentó a la Presidenta de la República el primer instrumento nacional en materias de reducción del Riesgo de Desastres, denominada Política Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (PNGRD). El 19 de mayo de 2015, ONEMI, a través de la Resolución Exenta N° 402, constituyó formalmente la Plataforma Nacional para la Reducción del Riesgo de Desastres y aprobó su reglamento interno de funcionamiento, refiriéndose a esta como órgano de carácter asesor de ONEMI, la que tendrá como función principal ser el agente promotor a nivel Nacional de la Reducción del Riesgo de Desastres. En lo que respecta a la sequía, propiamente tal, ésta es reconocida explícitamente en la PNGRD, aunque no es abordada como tema específico de dicha política, mientras que en los aspectos normativos es destacada en relación con la Ley N° 19.061 de 1999, que establece Normas sobre Fomento a Obras de Riego en Zonas Afectadas por Sismos o Catástrofes (ONEMI, 2018).

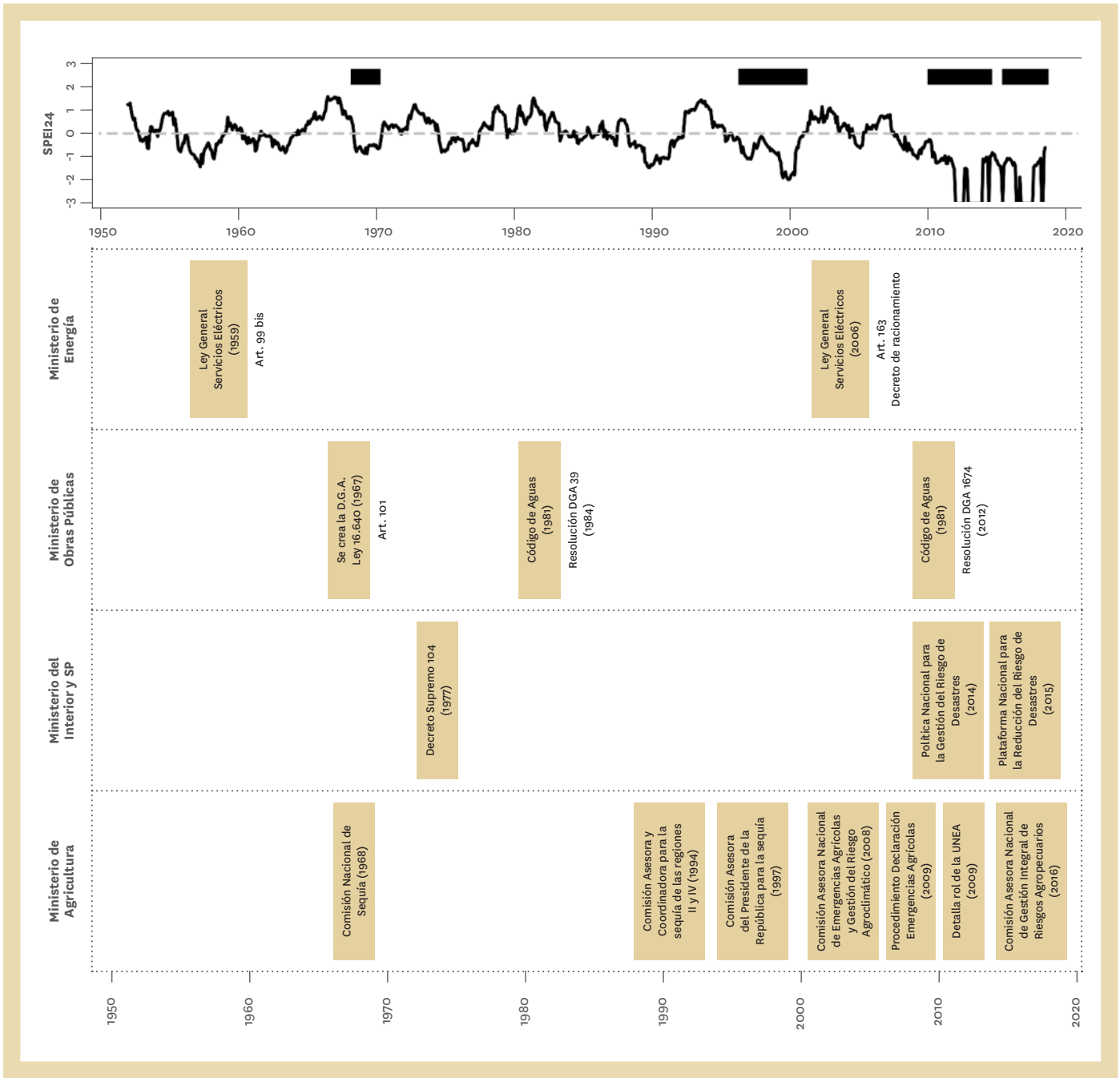


FIGURA 26.

Evolución institucional-normativa de la Gestión del Riesgo de Sequías según Ministerio. a) Índice SPEI-24, b) Ministerio de Energía, c) Ministerio de Obras públicas, d) Ministerio del Interior y Seguridad Pública y e) Ministerio de Agricultura. Rectángulos negros destacan sequías del 68', 98' y 2010. Rectángulos asociados a Ministerios indican hitos (normativa o institución). En paréntesis se indica año de constitución del hito.

Pese a los avances descritos, el mecanismo exacto que ha sido utilizado por este Ministerio para la declaración de condiciones de sequía corresponde al "Decreto de Zona de Catástrofe", cuyo principal respaldo legal lo constituye, de acuerdo con el estudio al respecto desarrollado por Henríquez *et al* (2016), el Decreto Supremo N° 104, del 25 de junio de 1977, que coordina y sistematiza el Título I de la Ley N° 16.282 (1965), sobre disposiciones permanentes para casos de sismos o catástrofes y sus modificaciones posteriores (1986, 1991, 2003, 2010 y 2012).

Finalmente, de las cuatro entidades públicas consideradas en el Paisaje Institucional de la Sequía en Chile, el Ministerio de Agricultura es la entidad pública que ha mostrado una mayor evolución para dar soporte a un enfoque prospectivo para la GRD, en general, y GRS, en particular. Este progreso se manifiesta, por ejemplo, en la transición desde el antiguo concepto reactivo de Comisión Nacional de Sequía (constituida por ejemplo durante el gobierno del Presidente Frei Montalva para hacer frente a la épica sequía del 68'), hasta la creación actual de un Departamento de Gestión Integral de Riesgos (D-GIR) en 2015 por parte de la Subsecretaría de Agricultura. El tránsito entre de esta institucionalidad ha estado marcado fundamentalmente por la figura del tipo "Comisión Presidencial para la Sequía/Gestión del Riesgo Agroclimático" y creación paralela de una unidad operativa (Unidad Nacional de Emergencias Agrícolas y Gestión del Riesgo Agroclimático (UNEA)/ Subdepartamento de Información, Monitoreo y Prevención/ Sección de Emergencias y Gestión de Riesgos Agrícolas),

Desde el punto de vista de la GRS, el procedimiento habitual ha consistido en la Declaración de Emergencia Agrícola, siguiendo las directrices establecidas en en el antiguo Ordinario 85 de fecha 27 de enero de 2009 que estipula el Procedimiento para la Declaración de Emergencias Agrícolas (PDEA) con un mecanismo de respuesta consistente en el Item "Emergencias Agrícolas" de la Ley de Presupuestos del Sector Público.

De forma paralela, la Sección de Emergencias Agrícolas del Ministerio (ex UNEA) ha sido la responsable de administrar el Observatorio Agroclimático, el cual se ha constituido en una verdadera herramienta de gestión en el contexto de la GRS en el país. El desarrollo de dicho observatorio constituye una experiencia única en el país, fruto del esfuerzo colaborativo de un gran número de instituciones nacionales e internacionales orientado a la creación de un bien público para la toma informada de decisiones con base científica, con fuerte énfasis hacia la Gestión del Riesgo de Sequías en Chile.

Es posible concluir que la evolución institucional-normativa de la Gestión del Riesgo de Sequías en Chile, muestra un desarrollo que, a pesar de sus avances, no ha podido desacoplarse del denominado ciclo hidrológico, modelo conceptual propuesto por Wilhite (2012) para hacer referencia a las interacciones sequía-sociedad que, para el caso de Chile, fue parcialmente consignada por Núñez (2015). En efecto, la Figura 26 muestra, sobre la evolución institucional, la serie histórica para el periodo 1952-2018 del Indice de Precipitación-Evapotranspiración Estandarizado (SPEI), recomendado actualmente como herramienta de monitoreo de sequías a nivel internacional (WMO, 2012). El índice—cuyos valores negativos son indicativos de condición de sequía— ha sido calculado como promedio de Chile central entre las regiones de Coquimbo y Los Lagos para un periodo de acumulación de 24 meses (SPEI-24), adecuado para un seguimiento de sequías de mediano plazo. Junto a la evolución del SPEI durante los últimos 70 años, se destaca además la ocurrencia de los tres principales eventos de sequía discutidos en este trabajo. Se puede apreciar la concurrencia de diversos hitos de la evolución institucional-normativa y los eventos de sequía importantes en Chile central, como las Comisiones Nacionales de Sequía y creación de la Dirección General de Aguas a fines de los 60', las Comisiones Asesoras Presidenciales de la Sequía a mediados de los 90' y las modificaciones institucional-normativas para hacer frente a la reciente megasequía tanto por parte de la DGA como del Ministerio de Agricultura durante la última década. De esta forma, y pese a la evolución que ha manifestado el paisaje institucional de la sequía en Chile, éste no ha podido desacoplarse del ciclo hidro-ilógico, propio de una GRS con fuerte carácter reactivo. Pero además, el desarrollo institucional-normativo tampoco se ha traducido en un mejoramiento de los mecanismos de respuesta, de modo de que éstos sean más eficaces y efectivos. Lo anterior ha quedado constatado, por ejemplo, en el trabajo reciente de Garreaud *et al* (2017). Al analizar lo que ha sido la respuesta del estado frente a la evolución de la sequía meteorológica entre los años 2010-2015, los autores encuentran un incremento en los gastos asociados a la distribución de agua potable en los territorios afectados en Chile central a medida que el déficit hídrico se iba intensificando. Lo mismo ha ocurrido en términos de decretos de escasez y declaración de emergencia

agrícola. Sin embargo, la relación entre estos indicadores y los niveles de déficit de precipitación muestran claros desajustes, lo que se explicaría, según los autores, por el rol que adquiere en la distribución de ayuda financiera para paliar los efectos de la sequía, los tomadores de decisión política. En efecto, el análisis detallado de los instrumentos de gestión de sequías por parte de los Ministerios analizados en este trabajo permite constatar dicha apreciación.

Finalmente, y en la medida que las señales de la variabilidad y cambio climático en sus múltiples escalas temporal y espacial se signan expresando en el territorio nacional hacia niveles crecientes de escasez hídrica, particularmente en Chile central, resultará cada vez más constatable si la evolución del paisaje institucional de la sequía en Chile han resultado eficaces y eficientes para la construcción de una sociedad más adaptada y resiliente frente a los impactos futuros de la sequía y déficit hídrico extremo. Tal vez un criterio de evaluación, en este sentido, es si las medidas adoptadas por los sistemas de Gestión de Riesgo de Sequías dentro del paisaje institucional permiten el tránsito hacia formas sustentables en la utilización de los recursos hídricos, particularmente subterráneos, aspecto identificado recientemente por Núñez *et al* (2017) como elemento clave de la seguridad hídrica frente a los eventos de sequía. Presionar dicha sustentabilidad conduce, de acuerdo con los autores, a niveles crecientes de vulnerabilidad. Mantener un uso sustentable del recurso hídrico, por otro lado, impone la necesidad de transitar hacia nueva normalidad hídrico-legal, dejando detrás el relato de la sequía como mecanismo de respuesta institucional. Algo que, tal como fue analizado por Núñez *et al* (2014) implica un costo significativo dentro del entramado normativo-institucional: el costo político de aceptar, dentro del contexto hídrico, una nueva normalidad.

COLOMBIA

AUTORES

Martha Cecilia Cadena[1], Joana Pérez[2] y María Teresa Martínez Gómez[2]

[1] Instituto de Hidrología, Meteorología y EstudiosAmbientales (IDEAM), Bogotá Colombia
[2] Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD), Bogotá Colombia

© Pixabay/R Augusto Ramírez Vallejo. CCo Creative Commons

Introducción

COLOMBIA ESTÁ UBICADA EN LA ESQUINA NOROCCIDENTAL DE SURAMÉRICA, SOBRE la zona ecuatorial; gracias a su fisiografía, el país presenta diferentes paisajes, que se intercalan entre las zonas montañosas de la cordillera de los Andes y las zonas bajas correspondientes a las llanuras interiores, las zonas costeras del Pacífico y el Caribe y los valles interandinos de los Ríos Magdalena y Cauca donde se ubica la mayor concentración de población y de actividades económicas.

Por su relieve diverso, en Colombia pueden encontrarse climas que van desde lo árido en zonas planas de la península de La Guajira, al norte de la Región Caribe y en algunos sectores del Medio Magdalena, como el desierto de La Tatacoa en el departamento de Huila, hasta los Nevados del Ruíz o Santa Isabel, ubicados en los picos más altos de las cordilleras. Este recorrido por los diferentes pisos térmicos desde los 0 m.s.n.m hasta alturas superiores a los 3.000 metros, dejan una gama inagotable de climas y ecosistemas, que contemplan páramos, bosque tropical y sabanas. Estos paisajes se han agrupado por sus características fisiográficas y zonas hidrográficas o grandes cuencas, que diferencian las cinco grandes regiones naturales del país, correspondientes a La Región Caribe ubicada al norte del país; la Región Andina donde se encuentra la zona montañosa y los valles interandinos de la cuenca de los Ríos Magdalena y Cauca; La Región Pacífica, sobre la costa y el Litoral delimitado por el flanco occidental de la cordillera occidental; La Región del Orinoco o zona plana correspondiente a los Llanos Orientales en límites con Venezuela y la Región de la Amazonía, al sur, correspondiente a la zona de bosque tropical húmedo en límite con Brasil (Figura 27).

En términos climáticos, estas características físicas se traducen en un comportamiento de la lluvia bastante heterogéneo y diferencial tanto en la zona montañosa como en las zonas planas. La mayor influencia en el régimen de las precipitaciones en Colombia, se relaciona con el desplazamiento de la Zona de Confluencia Intertropical (ZCIT), unida a otros elementos de macro y mesoescala como las Ondas del Este y vaguadas de colas de frentes extratropicales, por mencionar algunos (IDEAM, 2017), que producen un régimen de lluvias muy diverso y difícil de analizar, por lo cual es tema de investigación constante.

Básicamente Colombia presenta un régimen de precipitación bimodal, con dos temporadas lluviosas durante el año, en las regiones Andina y Caribe, marcadas por el desplazamiento de la ZCIT de sur a norte durante el primer semestre y de norte a sur en el segundo. Las épocas de mayores lluvias están distribuidas en los meses de marzo-mayo y septiembre-noviembre respectivamente; separadas por dos periodos secos o de menores precipitaciones en los meses de diciembre-febrero y junio-agosto a mitad de año. En general, el resto del país tiene un régimen monomodal o con apenas un solo periodo lluvioso. En la Orinoquia, esta temporada se extiende entre abril y octubre; sobre el Pacífico las precipitaciones se mantienen fuertes y continuas a lo largo del año sin presentar ningún tipo de estacionalidad y hacia el Trapecio Amazónico, las mayores lluvias se presentan entre septiembre y mayo.

FIGURA 27.

Regiones Naturales de Colombia. (National Geographic-Esri)

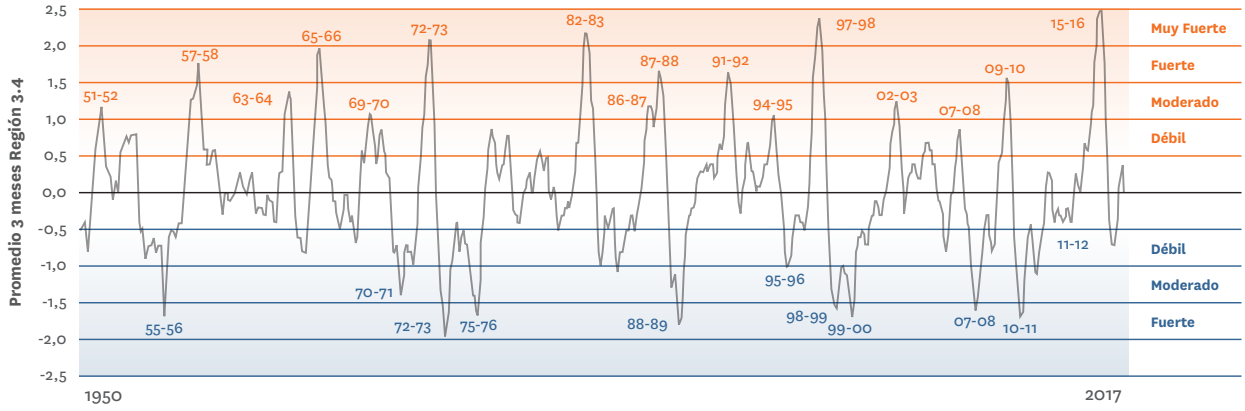
En cuanto a señales de variabilidad de más largo periodo, que tienen mayor influencia sobre este régimen de precipitación, se encuentran las ondas de Madden-Julian y en la escala interanual el fenómeno ENOS (El Niño-Oscilación Sur), el cual tiene una estrecha relación con eventos extremos de lluvia o sequía en el país, principalmente en las regiones Caribe y Andina. Ante la ocurrencia de El Niño, disminuyen los aportes por precipitación en época de mayores lluvias y se acentúan los periodos secos principalmente en las Regiones Caribe y Andina; la disminución en la disponibilidad de agua tanto para el abastecimiento de acueductos como para el suministro hídrico necesario para las diferentes actividades agrícolas, produce cuantiosas pérdidas económicas y conflictos sociales, sin contar con los problemas ambientales, ante el aumento de incendios forestales y pérdida de cobertura vegetal y de servicios ecosistémicos por las altas temperaturas.

Colombia es un país afectado por sequías frecuentes e intensas, debido a su localización y características climáticas, que lo hacen vulnerable ante la variabilidad climática regulada por El ENOS, que a lo largo del tiempo y de forma recurrente afecta el régimen climático del país y genera sequías intensas y de larga duración, de las cuales una de las más severas ha sido la presentada durante el año 2015-16. Esta sequía en particular, por ser la más reciente, tiene información socioeconómica documentada que ilustra el grado de afectación del país en un evento de esta magnitud. Durante este periodo vale la pena mencionar las afectaciones sobre el sector energético, con una contracción del 6,1% de la generación hidroeléctrica frente a la producción del 2012, lo que obligó a la importación de energía eléctrica del orden de $37.9 millones de dólares en comparación con $1.7 millones del año anterior. En cuanto a navegabilidad fue necesario acudir al aligeramiento de convoyes y reducción de días navegables. Se produjo un incremento en trastornos nutricionales y enfermedades infecciosas, por desabastecimiento de agua y escasez o contaminación de productos agrícolas. Se produjo proliferación del chikunguña y del zika, con 19600 y 105100 casos, respectivamente; hubo una reducción en la productividad agropecuaria hasta en un 5% en cultivos y en 4.9% en producción lechera. Se produjo desabastecimiento de agua potable en 237 municipios y racionamiento del recurso en 296. Como consecuencia de todo ello, el gobierno nacional debió invertir en acciones de prevención, atención y recuperación de las zonas afectadas por el evento, alrededor de seiscientos mil dólares (DNP, 2017).

Por las razones expuestas, es importante para los países latinoamericanos, contar con investigaciones tendientes a hacer el análisis espacial y temporal de la sequía, lo que unido a una buena política gubernamental y a la articulación institucional en cada país, contribuye a una respuesta eficiente ante la ocurrencia del evento y la implementación de planes de adaptación a la variabilidad y al cambio climático que sean aplicables y operativos en las zonas afectadas.

LA OCURRENCIA DE EVENTOS DE SEQUÍA EN COLOMBIA

La ocurrencia de eventos de sequía en Colombia, está estrechamente relacionada con episodios fuertes y muy fuertes del fenómeno El Niño, que en el país, representa la mayor señal de variabilidad climática interanual; aunque no se pueden descartar eventos de menor magnitud y cobertura espacial que pueden darse fuera de los periodos El Niño (Figura 28); esto fue corroborado en el estudio más reciente de actualización de las estadísticas de la sequía en Colombia publicado por el IDEAM en 2017 y en estudios anteriores a 1981 (IDEAM,2006) donde se refleja que varios de los episodios de sequías intensas y de gran cobertura espacial, fueron coincidentes con periodos de ocurrencia del fenómeno El Niño fuerte y muy fuerte.



Los textos en: i) Naranjo, El Niño Fuerte ii) Azul, La Niña Fuerte iii) Negro, Moderado (o ninguno)

FIGURA 28.

Valoración Índice ONI 1950-2017 (DNP, 2017)

Analizando el resultado de los análisis de cada uno de los eventos de sequía meteorológica registrados, mediante el análisis del Índice de Precipitación Estandarizado SPI para tres (SPI3) y seis meses (SPI6) (OMM-2012), se establecieron las sequías meteorológicas más importantes en cuanto a su intensidad y cobertura espacial para el periodo 1970-2016 (IDEAM, 2017). La intensidad de la sequía meteorológica está dada por la clasificación del índice, en donde un valor inferior a -1 indica una condición moderadamente seca; las características están dadas por la escala definida para el índice (Tabla 3). Mediante la espacialización del índice y la agrupación por regiones, se pudieron detectar las zonas de mayor incidencia de sequías:

TABLA 3 CLASIFICACIÓN DEL ÍNDICE ESTANDARIZADO DE LA PRECIPITACIÓN SPI (OMM, 2012)

VALOR DEL SPI(6)	CATEGORÍA
2.0 O MAYOR	EXTREMADAMENTE HÚMEDO
1.5 A 1.99	MUY HÚMEDO
1.00 A 1.49	MODERADAMENTE HÚMEDO
0 A 0.99	LIGERAMENTE HÚMEDO
0 A -0.99	LIGERAMENTE SECO
-1.0 A -1.49	MODERADAMENTE SECO (SEQUÍA MODERADA)
-1.5 A -1.99	MUY SECO (SEQUÍA SEVERA)
-2.0 O MENOR	EXTREMADAMENTE SECO (SEQUÍA EXTREMA)

Periodo 1970 - 2016

- julio/72-agosto/73
- abril/76-julio/77
- julio/82-diciembre/83
- enero/junio 1985
- Junio/86 – dic/87
- Junio/diciembre 1988
- agosto/91-diciembre/92
- abril/97-marzo/98
- enero2001/-abril/2003
- mayo/09 – marzo/10
- enero/2015-mayo/2016

De estos eventos, los más intensos y con mayor cobertura espacial fueron los ocurridos en:

- agosto/91-diciembre 92
- abril/97-marzo/98
- enero/2015-mayo/2016

El evento del periodo 91-92 representa una de las sequías más severas ocurridas en el país, con características de sequía extrema y de gran extensión territorial, afectando principalmente los valles de los ríos Magdalena y Cauca, y la zona insular de San Andrés y Providencia.

La sequía moderada se distribuyó por amplias zonas de la región Andina, particularmente en los departamentos de Nariño, oriente de Cauca, Valle, Huila, Eje Cafetero, Tolima, Cundinamarca, Boyacá, los Santanderes y Antioquia, además de afectar el norte y centro de la región Pacífica.

La sequía ligera se concentró en el resto de la región Pacífica, región Andina, y sobre el piedemonte de la Orinoquia y Amazonia y algunos puntos de la región Caribe.

La mayor intensidad se presentó durante el primer semestre de 1992 (Figura 29-derecha). Durante el primer semestre de 1991 (Figura 29-izquierda), la sequía empezó a registrarse inicialmente sobre la Región Caribe, como es habitual, norte de la Región Andina y sectores de la Amazonia; para el primer semestre de 1992, la sequía severa se había extendido prácticamente a todo el país incluyendo el centro y sur de la Región Andina, Orinoquia, llegando a afectar incluso el Pacífico.

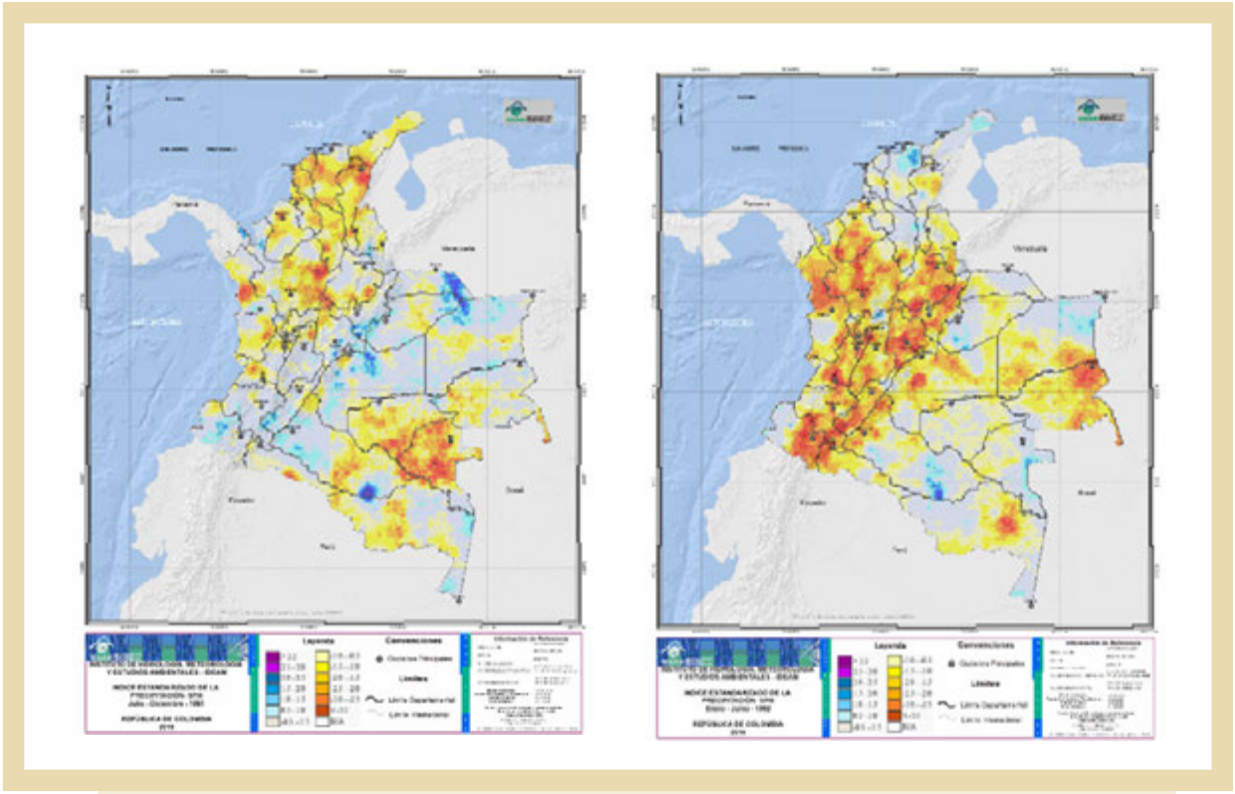


FIGURA 29.

Índice Estandarizado de Precipitación (SPI6), segundo semestre de 1991 (izquierda) y primer semestre de 1992 (derecha). (IDEAM, 2017)

Durante el periodo abril/97-marzo/98, los núcleos de sequía extrema o severa, se concentraron especialmente en el valle de la cuenca alta del Magdalena, entre los departamentos de Huila y Tolima, en la cuenca del río Sogamoso, en los departamentos de Santander y Boyacá y sobre la Sabana de Bogotá, en Cundinamarca; así mismo, eventos de sequía moderada se presentaron en sectores del norte y centro de Chocó y sobre la región Caribe y Andina. Temporalmente, la mayor afectación se produjo durante el segundo semestre de 1997 (Figura 30-derecha), iniciando con una sequía ligera en gran parte del país desde el primer semestre de ese año, exceptuando el sur de la Región Andina y la Amazonia y progresivamente

acentuando su intensidad y extendiéndose prácticamente a todo el país, incluyendo también gran parte de la Orinoquia, para el segundo semestre de 1997. La intensidad disminuyó significativamente hacia el primer semestre de 1998, aunque aún se presentaba ligeramente sobre el Pacífico y sectores de la Región Andina (Figura 30-abajo).

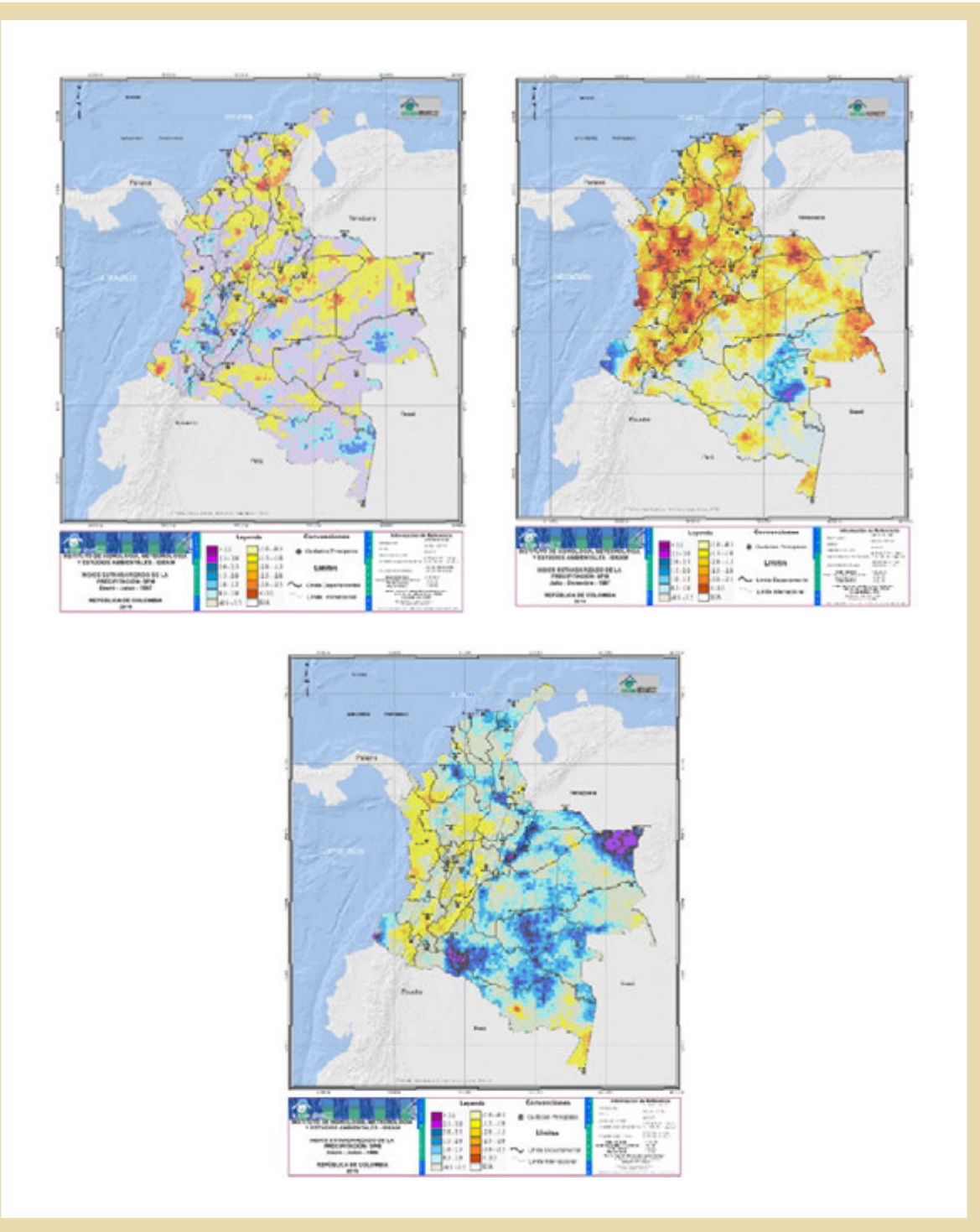


FIGURA 30.

Índice Estandarizado de Precipitación (SPI6) 1997(arriba) y primer semestre de 1998 (abajo). (IDEAM, 2017)

La sequía ocurrida durante el periodo 2015-2016, ha sido junto con la sequía de 1992, una de las más prolongadas y de mayor incidencia territorial de la historia, dominando la mayor parte de los territorios de las regiones Caribe y Andina, con intensidad severa. Comenzó en el primer semestre de 2015 (Figura 31-izquierda arriba) en áreas de la Región Caribe, extendiéndose a la Región Andina y alcanzando su mayor intensidad durante el segundo semestre, en importantes regiones agrícolas de las zonas de Altiplano en Cundinamarca, Boyacá, Nariño y sobre la cuenca alta del Río Magdalena en los departamentos de Tolima, Huila, Cauca y Valle del Cauca. La mayor intensidad se presentó sobre el centro y sur de la región Andina durante el segundo semestre de 2015 (Figura 31 arriba derecha), contrario a lo ocurrido en la Región Caribe, donde el peor escenario se presentó durante el primer semestre del mismo año. La sequía venía anunciándose, incluso con precipitaciones por debajo de lo esperado en la segunda temporada lluviosa del año 2014, cuando apenas iniciaba el calentamiento sobre el Pacífico, así que el periodo seco se extendió casi por cuatro semestres consecutivos en esa región, incluyendo el primer semestre de 2016 (Figura 31 - izquierda abajo).

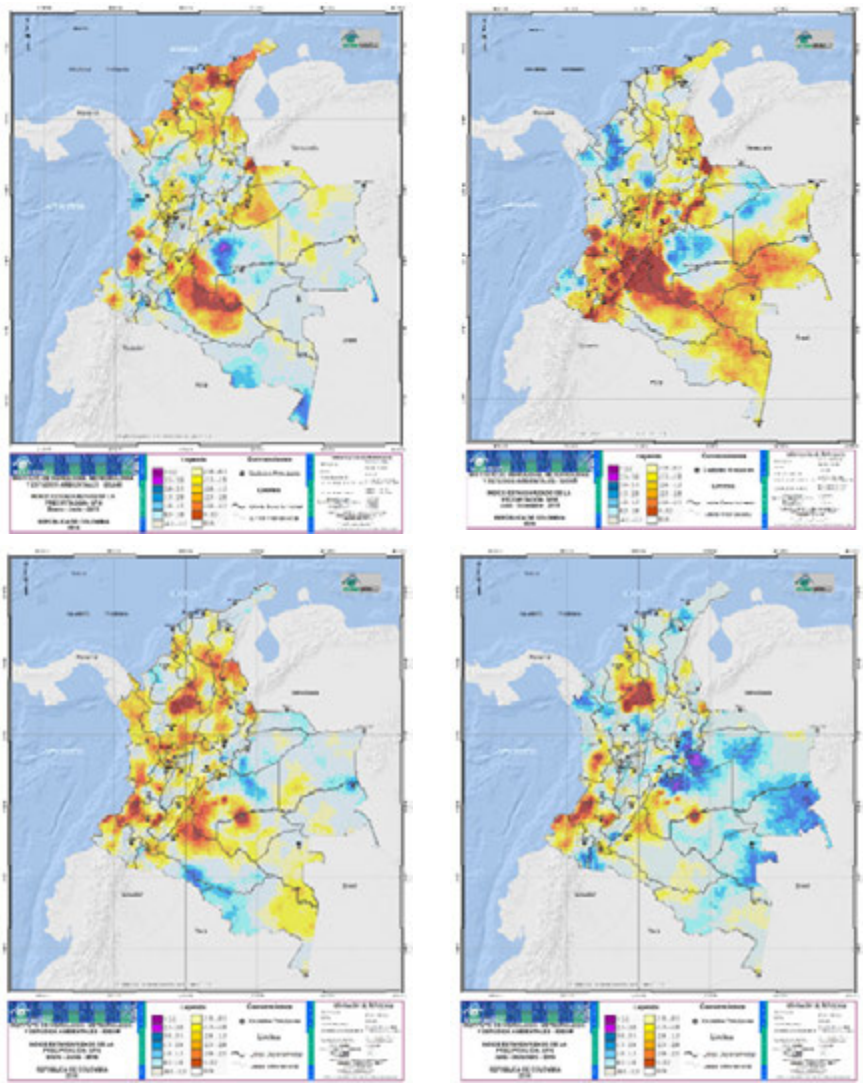


FIGURA 31.

Índice Estandarizado de Precipitación (SPI6) 2015-2016. (IDEAM, 2017)

Los demás periodos detectados, se caracterizaron por ser eventos frecuentes y de amplia extensión sobre las Regiones Caribe, Andina y Orinoquia, pero con la diferencia de que la sequía severa se presentó en áreas más reducidas y predominó una condición de menor intensidad entre moderada y ligera; además se encuentran semestres en los que la temporada lluviosa fue muy deficitaria y eso ocurrió en gran parte del país.

El periodo seco del primer semestre de los años 1985 y 2001 y el segundo semestre de 2009, se caracterizaron por presentar sequía entre ligera y moderada en gran parte del territorio nacional, pero con una reducida duración en el tiempo, recuperándose rápidamente el volumen climatológico normal de las lluvias, terminado el semestre.

El periodo correspondiente al primer semestre de 1988, se caracterizó por presentar una sequía severa en gran parte de la Orinoquia y la Amazonia, sin afectar mayormente las demás zonas del país, resultando muy localizada para esas regiones.

Para la época entre julio/1982 y diciembre/1983, se presentaron sequías aisladas sobre la cuenca media del Río Cauca, sub-cuenca del Rio Nechí en Antioquia, sobre el Altiplano de Nariño y en el piedemonte Amazónico.

Eventos de sequía parcial, es decir, concentrados en algunas zonas en particular, se han presentado en febrero/1985 y enero/1986 y entre julio/1986 y agosto/1987, en las que se puede mencionar la presencia de eventos severos en el norte y centro de la región Pacífica (Chocó, principalmente) y en el piedemonte Amazónico, oeste de los departamentos de Putumayo y Caquetá.

LA FRECUENCIA DE SEQUÍAS EXTREMAS EN COLOMBIA

De acuerdo con los resultados obtenidos de diferentes análisis, la recurrencia de eventos de sequía meteorológica, es decir ocasionada únicamente por déficit de precipitación, durante las temporadas lluviosas del primero y segundo semestre, oscilan entre 4 y 8 años en la mayor parte de las regiones Caribe, Andina y Pacífica, resultando más frecuentes durante el primer semestre. En amplios sectores de la Orinoquia y Amazonia y al sur de la Región Pacífica, la recurrencia es menor, registrándose una incidencia del fenómeno con periodos entre 7 y 9 años (IDEAM, 2012).

De acuerdo con la Figura 32, para una sequía con déficit de precipitación de aproximadamente el 10%, las zonas que mayor periodo de recurrencia presentarían, entre 2.6 y 2.8 años, corresponderían al Litoral y zona central de la Región Caribe; sobre la Región Andina, se presentarían sequías con este rango de disminución de la lluvia, con un periodo de retorno de entre tres y tres años y medio, exceptuando la zona cenagosa de la cuenca baja del Río Magdalena hacia el sur del departamento de Bolívar, en el Caribe; seguiría en su orden la Costa Pacífica, con periodos de retorno mayor, cercanos a los cuatro o cuatro años y medio. Un comportamiento similar hacia la Amazonia en el sur del país y por último la zona con menor ocurrencia de sequía de estas características, correspondería a la Orinoquia, en donde se limita su ocurrencia a periodos entre cinco y cinco años y medio (Figura 32 arriba-derecha).

Para sequías de mayor intensidad, con déficit de lluvias hasta del 40%, se observa un comportamiento parecido. La región Caribe muestra un periodo de retorno entre 55 y 75 años, convirtiéndose en la zona con mayor riesgo por ocurrencia de este tipo de eventos tanto sobre el Litoral como en la zona central, en los departamentos de Magdalena, Atlántico, Guajira, Sucre, norte de Córdoba y el Valle del Cesar, en estribaciones de la Sierra Nevada de Santa Marta.

En segundo lugar estaría el valle interandino de la cuenca Alta y Media del Río Magdalena, sur de la Región Caribe con periodos de retorno de 100 años. El rango entre 100 y 125 años, se presentaría particularmente hacia los Santanderes, Valle del Cauca, sur del Cauca, Nariño en su zona de montaña, Urabá, Cundinamarca y Boyacá; en el resto de la región, oscilaría entre 125 y 150 años.

Al norte de la Amazonia, se presentarían eventos con un periodo de recurrencia entre 175 y 200 años. Seguirían en su orden el centro-sur del Pacífico y sur de la Amazonia con 225 y 250 años y por último se encuentra la Orinoquia y el piedemonte de la Amazonia, con periodos mayores a 275 años (Figura 32 abajo-derecha).

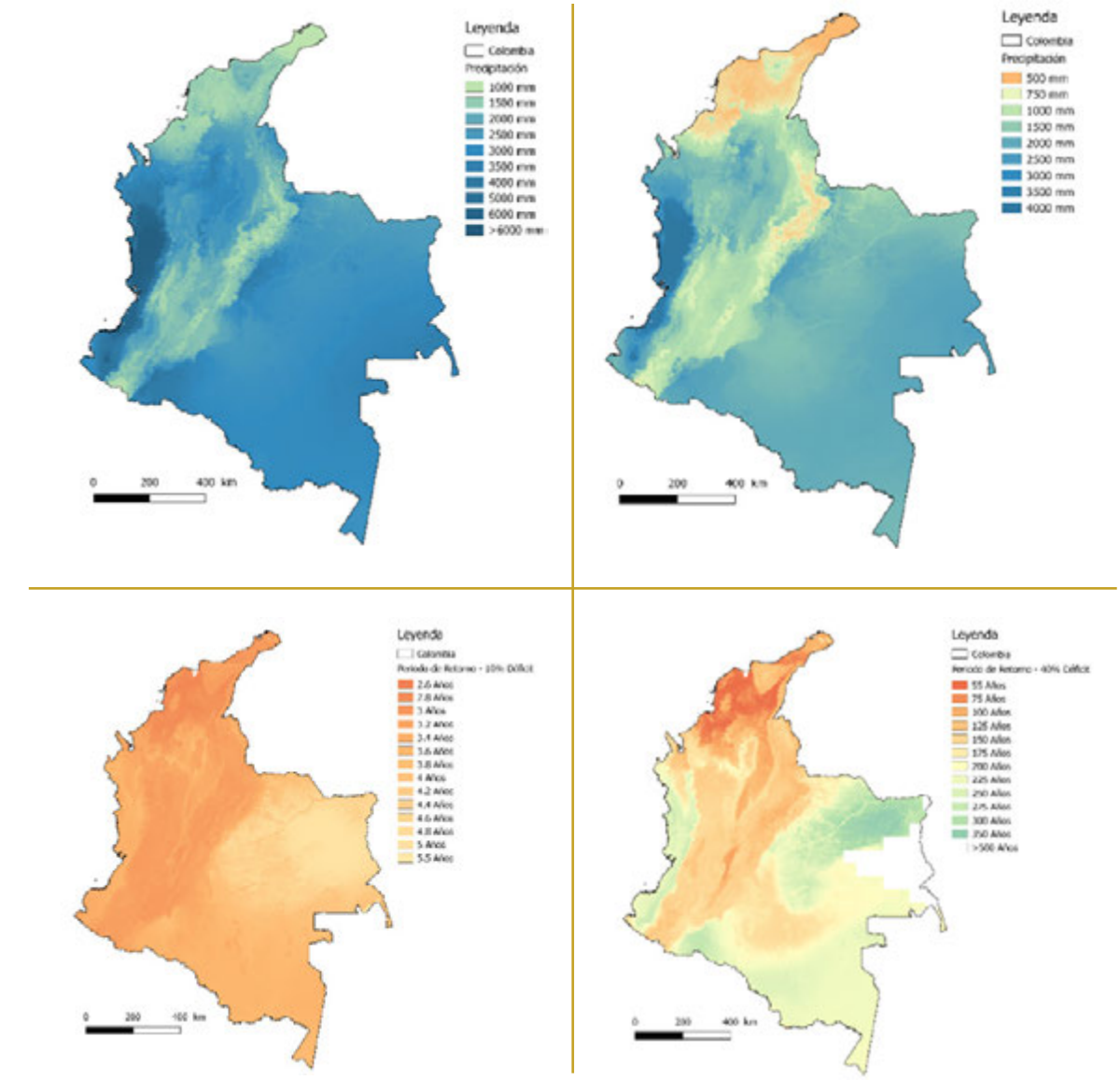


FIGURA 32.

Mapas de precipitación anual esperada para una sequía esperada en a) 1 en 2 años y b) 1 en 100 años. Mapas de periodo de retorno para una sequía equivalente a un c) 10% de déficit y d) 40% de déficit.

LOS IMPACTOS DE LA SEQUÍA EN LOS DIFERENTES SECTORES DE COLOMBIA

Aunque Colombia es una región con alto recurso hídrico, los impactos sobre el país por sequía se presentan especialmente cuando se desarrolla el fenómeno El Niño y se cruza con la época de temporada seca aumentando el impacto sobre las poblaciones y las actividades económicas de todas las regiones del

país. Cabe mencionar que el país cuenta con algunas zonas específicas que tiene microclimas secos. A continuación se presenta un resumen de los impactos por sector de acuerdo con los eventos El Niño que más impacto han causado en el país.

EVENTO EL NIÑO 1972-1973

Sector Agrícola: las pérdidas ocasionadas por el intenso verano en el Valle del Cauca fueron estimadas en 200 millones de pesos por el Comité de Trabajo del Consejo Seccional de Desarrollo Agropecuario (ET, 1998:02:06, Hace 25 años)[2]

Durante esos años hubo racionamiento de energía y de agua que, al igual que en el periodo 1980 – 1983 y 1992 – 1993, impactaron la economía y la vida cotidiana, incluyendo periodos de vacaciones escolares forzadas por las altas temperaturas y déficit de agua para consumo humano y regadío en el Valle del Cauca.

EVENTO EL NIÑO 1977-1978

Sector Eléctrico: En registro de la prensa escrita El Tiempo del 14 de enero de 1977 se menciona que se realizaron racionamientos energéticos del 25 % en los departamentos de Antioquia, Valle del Cauca, Atlántico, Norte de Santander, Boyacá, Magdalena, Nariño, Chocó, Quindío, Meta Tolima, Bolívar, Bogotá y 20 municipios de Cundinamarca. Los niveles del río Magdalena habían llegado a "sus niveles más bajos" (ET, 2002:01:14. Hace 25 años.)[3]

EVENTO EL NIÑO 1982-1983

Para esa época, la información nacional e internacional sobre pérdidas es prácticamente inexistente para Colombia.

EVENTO EL NIÑO 1991-1992

Sector Eléctrico: el sector eléctrico fue el más afectado dado que en el año 1992, se dio el llamado "apagón" que dejó sin electricidad a todo el país durante varias horas. El racionamiento se extendió por trece meses. En regiones como la costa atlántica los períodos sin luz eléctrica fueron hasta de diez horas diarias. Esto obligó a modificar el horario para aprovechar las horas de luz, lo que dio lugar a la llamada "Hora Gaviria", es decir, adelantar una hora el reloj. Para afrontar la situación el Gobierno aportó 70 millones de dólares y gestionó 130 millones de dólares con el Banco Interamericano de Desarrollo. El sector eléctrico era el responsable del 30% de la deuda sector público.

Las pérdidas ocasionadas por los cortes en el suministro de energía ascendieron a US$308 millones. Aunque este monto es relativamente bajo, está asociado también a una menor actividad industrial y comercial, cuyos daños sumaron US$143 millones y representaron cerca de 30% de los daños totales en Colombia durante el FEN 97-98[4]

EVENTO EL NIÑO 1997-1998

Sector Agropecuario: imperaron condiciones de sequía y los aumentos de la temperatura se reflejaron en la reducción de los rendimientos agropecuarios, retraso en la época de siembra, reducción en el área de cultivos e incremento de los costos de producción. Los cultivos afectados en el país fueron principalmente aquellos orientados a la exportación, como los cereales de secano, maíz, frijol, soya, y banano, cacao y caña de azúcar. La ganadería sufrió afectaciones por las sequías, aunque limitadas, y se materializan en la pérdida de peso del ganado y menor producción lechera[5].

2 Tomado del documento:"Los pasos de El Niño en Colombia 1980 – 2001: Algunas interpretaciones, oportunidades y utilizaciones". Observatorio Sismológico del SurOccidente – OSSO, 2002.

3 Tomado del documento:"Los pasos de El Niño en Colombia 1980 – 2001: Algunas interpretaciones, oportunidades y utilizaciones". Observatorio Sismológico del SurOccidente – OSSO, 2002.

4 Tomado del documento: "¡Es Niño! Impacto económico en la Región Andina". Lucia Martín, BID, 2016.

5 Tomado del documento: "¡Es Niño! Impacto económico en la Región Andina". Lucia Martín, BID, 2016.

Según la CEPAL el porcentaje de daños de este fenómeno en Colombia fue del 7% con respecto a Perú 47% y Ecuador 38% que fueron los más afectados para la época[6].

Sector agua potable: en enero de 1998 se realizaron racionamientos de agua en cuatro municipios del Valle del Cauca (La Cumbre, Yotoco, La Unión y Sevilla) entre las 10:00 pm y las 5:00 am principalmente, y 25 municipios del Cauca reportaban racionamientos a principios de febrero de 1998 (EP, 1998:02:07. Crisis campesina por El Niño). También se reportaron racionamientos en las zonas rurales de Ulloa, Argelia y El Cairo en el Valle del Cauca (ET, 1998:01:28. Ya empezó racionamiento de agua en el norte del Valle). En Cartagena (Bolívar) hacia enero de 1998 la situación del acueducto se tornaba delicada, por lo que las autoridades alertaron sobre posibles racionamientos si la sequía continuaba por 2 meses más (ET, 1998:01:08). En enero de 1998 seis municipios de Quindío estaban al borde de iniciar el racionamiento de agua (EP, 1998:01:31. El racionamiento ronda al Quindío)[7].

Sector Salud: según datos del Sistema Nacional de Vigilancia de Salud Pública - SIVIGILA (ET, 1998:01:28), la cantidad de afectados por dengue hemorrágico subió de 1900 en 1996 a 3900 en 1997; la malaria no reportó un crecimiento tan grande ya que de los 131 438 casos reportados en 1996 aumentó a 156 000 en 1997.

Sector Ambiente: Durante 1997 en Antioquia el incremento de los incendios forestales fue de un 700 % respecto a 1996, para un total de 1658, de los cuales el 50 % ocurrieron entre julio y agosto. Durante los primeros siete días de enero de 1998, se habían atendido 60 incendios forestales (ET, 8 de enero de 1998). En septiembre de 1997 el departamento de Nariño pidió al Gobierno Nacional declarar la emergencia luego de reportar 3000 hectáreas de bosque consumido por el fuego (EP, 1997:09:04. Nariño pidió la emergencia).

Sólo en el mes de enero de 1998 se quemaron, debido a incendios forestales, 1731 hectáreas de bosques nativos y pastizales en el Valle del Cauca (EP 1998:02:08. Se queman bosques del Valle).

EVENTO EL NIÑO 2014-2016

Por daños y afectaciones, de acuerdo con lo reportado por los ministerios de agricultura, ambiente, salud, minas y energía a la Unidad Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres, se afectaron 1.190.000 hectáreas agrícolas, 40.100 animales murieron por falta de alimento, 6.390 incendios de cobertura vegetal, 105.100 casos por Zika, 19.600 casos por chikunguña, 37.6 millones de dólares en importación de energía eléctrica desde Ecuador, 1.6 billones de pesos invertidos en prevención, atención y recuperación. La pérdida económica debido al Fenómeno de El Niño fue del 0,6% del PIB de 2015[8].

LA GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES POR SEQUÍA EN COLOMBIA

Durante los últimos años, se ha sentido con más severidad en Colombia la influencia de los fenómenos de variabilidad climática, y para el caso de la sequía relacionada con el déficit de lluvias asociada al fenómeno de El Niño, las consecuencias han repercutido en los sectores de agricultura, agua, salud, energía y ambiente entre otros, con afectaciones socioeconómicas a nivel nacional y consecuencias graves para el país.

Las lecciones aprendidas producto de los eventos Niño, especialmente los de 1991-1992 que marcó un hito en la historia del país por las consecuencias de los cortes de luz que se tuvieron que implementar, 1997-1998 que según el Banco de Desarrollo de América Latina – CAF dejó pérdidas del orden de 564 millones de dólares y el del evento La Niña 2010-2011 que el total de daños se calcula en 6.052 millones de dólares, le dieron experiencia al país para prepararse mejor ante este fenómeno cuando se presenta.

6 Tomado del documento: "¡Es Niño! Impacto económico en la Región Andina". Lucia Martín, BID, 2016.

7 Tomado del documento:"Los pasos de El Niño en Colombia 1980 – 2001: Algunas interpretaciones, oportunidades y utilizaciones". Observatorio Sismológico del SurOccidente – OSSO, 2002.

8 La Gestión del Riesgo de Desastres frente a los impactos por el Fenómeno El Niño en Colombia. (Presentación en PowerPoint). UNGRD. (2016).

A raíz de las intensas lluvias asociadas con el evento La Niña 2010-2011 y a los desastres que se generaron, siendo este catalogado como uno de los peores en la historia de Colombia, demandó respuestas inmediatas como la creación de Colombia Humanitaria, el Fondo de Adaptación, la Unidad Nacional para la Gestión de Riesgos de Desastres- UNGRD en el año 2011, seguidamente en el año 2012 se sancionó la Ley 1523 en donde se adopta la Política Nacional de Gestión de Riesgos de Desastres coordinado por la UNGRD, y mediante el decreto 308 de 2016 se adopta el "Plan Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres-PNGRD" Una estrategia de desarrollo 2015-2025, en donde el gobierno ha apoyado con determinación esta política pública.

Es importante mencionar, que la puesta en marcha de esta Ley ha permitido al país encaminar y canalizar sus esfuerzos en minimizar los impactos que causan estos factores en la economía y en la sociedad colombiana, bajo la coordinación y los lineamientos de la UNGRD, las entidades que hacen parte del Sistema Nacional para la Gestión del riesgo de Desastres - SNGRD proyectan los planes de contingencia como preparación para la sequía que cada una de las entidades debe implementar dentro de sus roles, funciones y competencias, incluyendo las entidades territoriales que gestionan el riesgo en cabeza de las alcaldías y gobernaciones, y por supuesto para las Corporaciones Autónomas Regionales, como principales entes ambientales a nivel de región. En la Figura 33 se muestra la estructura del mencionado sistema.

De acuerdo con los planteamientos de la UNGRD, durante los últimos 6 años, la nueva Política Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres ha cambiado su estrategia de distribución de los recursos bajo un esquema transversal de la gestión del riesgo en las políticas y planes de desarrollo, pasando de concentrar los recursos en el manejo de desastres (más del 90% en la década pasada) a priorizar la reducción de riesgo de desastres (mayor al 60% actualmente).

El Plan Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres 2015-2025 ha establecido que "mejorar el conocimiento del riesgo de desastres en el territorio nacional" no solo debería ser el primero de los cinco objetivos estratégicos, sino que debería materializarse a través de diversas estrategias que constituyan la base para la toma de decisiones sobre inversión segura, incorporación de criterios de sostenibilidad en los procesos de planificación del desarrollo, ordenamiento territorial y planificación ambiental.

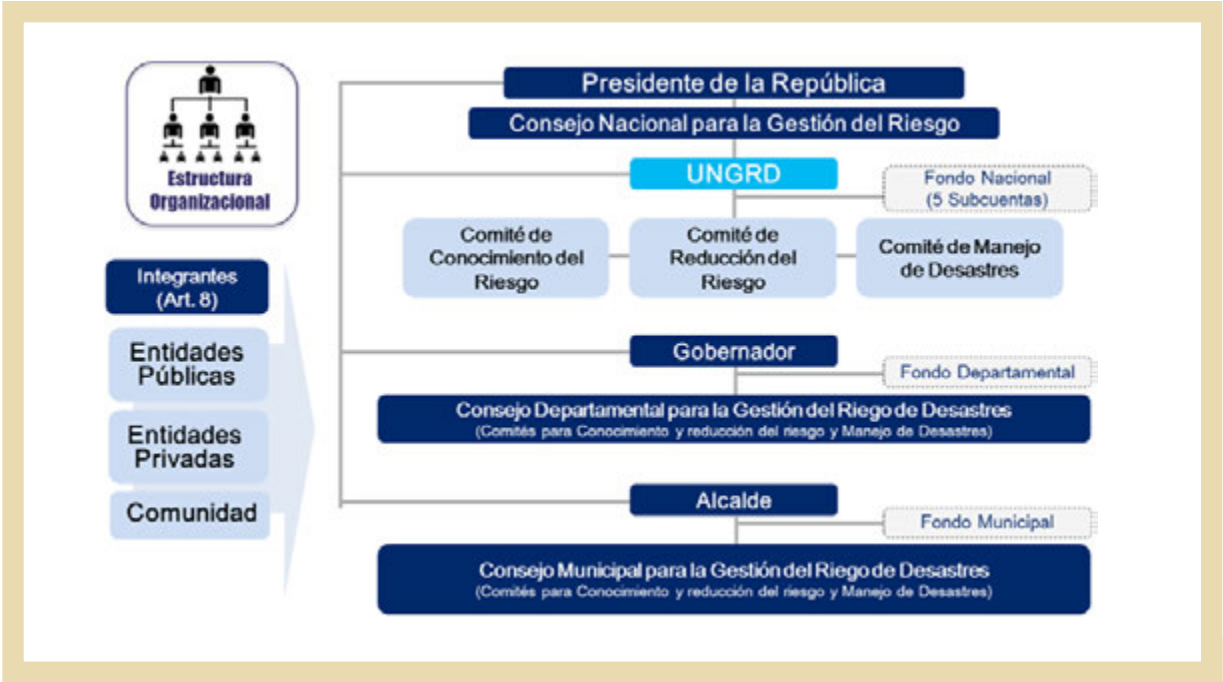


FIGURA 33.

Conformación del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres. Fuente UNGRD, 2018

Es así como este plan contiene metas y proyectos a desarrollar por las entidades del estado, encaminados a cumplir los objetivos estratégicos, en donde claramente se identifican las entidades involucradas con plazos definidos (corto, mediano y largo)[9]. Algunos proyectos que se identificaron y que se pueden considerar como aportes para el fortalecimiento de la estrategia institucional para reducir el riesgo por sequía se muestran en la Figura 34.

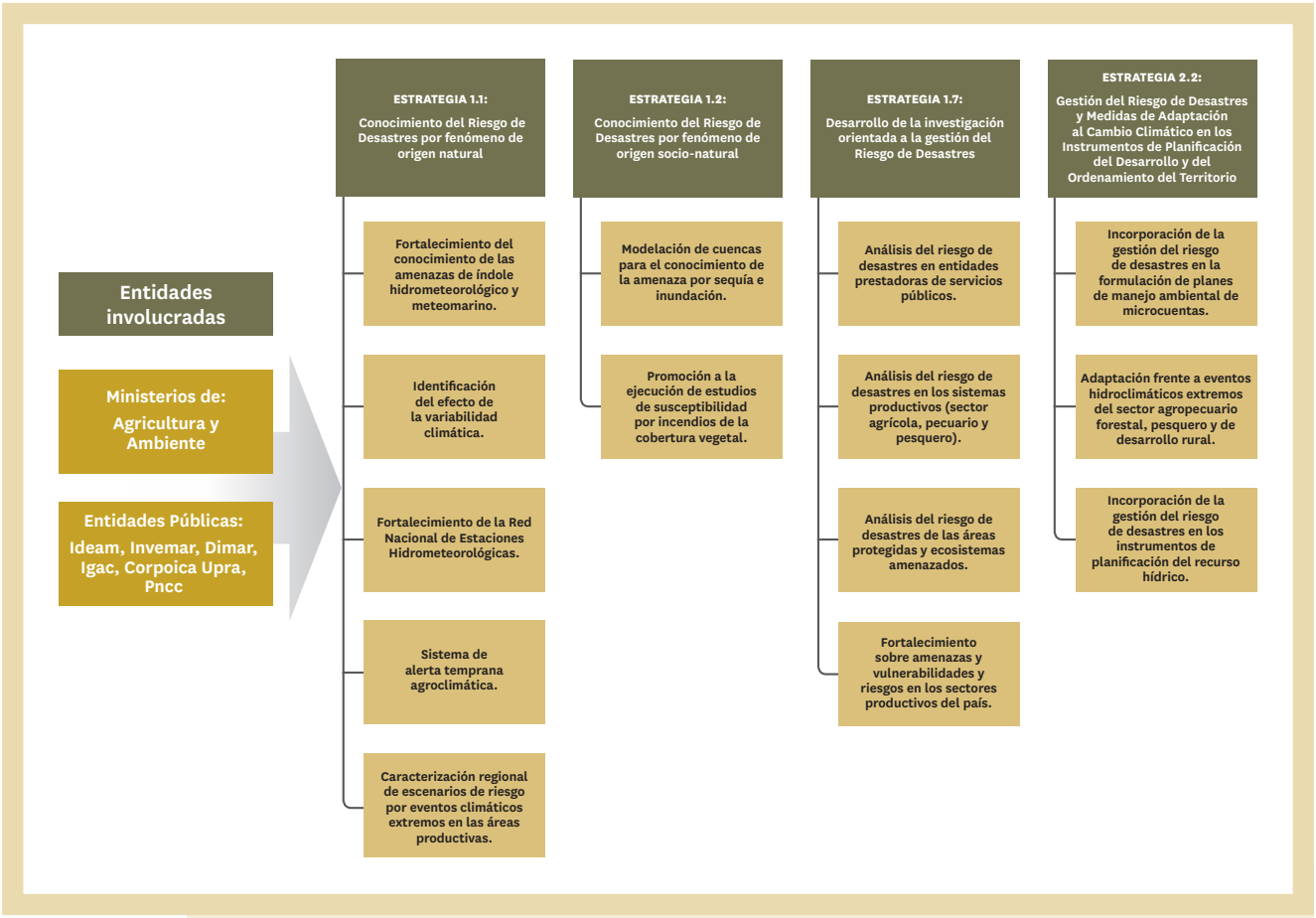


FIGURA 34.

Proyectos que se pueden considerar como aportes para el fortalecimiento de la estrategia institucional para reducir el riesgo por sequía. Fuente UNGRD, 2018

La situación anterior ha generado una necesidad inminente de estudiar y analizar, por parte de las instituciones del estado que tienen esta competencia, la academia y entidades privadas, el comportamiento del fenómeno El Niño desde la perspectiva de poder prepararnos y poder emitir las alertas con suficiente anticipación por el déficit de lluvias asociado a este evento. Gracias a estos trabajos de investigación se ha incrementado documentación al respecto, lo cual es muy relevante para las entidades del Sistema Nacional para la Gestión del Riesgo de desastres-SNGRD, permitiendo que cada una de ellas prepare y active sus planes de contingencia y de esta manera reducir el riesgo de desastres por sequía.

Es necesario resaltar que las alertas por sequía en Colombia se generan bajo el previo aviso del inicio de un fenómeno El Niño, siendo el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM, la entidad técnica del estado que tiene esta función. A partir de ahí la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres-UNGRD, convoca junto con el IDEAM a todo el SNPRD para que se desarrolle en

9 Plan Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres, Una Estrategia de Desarrollo 2015-2025, UNGRD, 2016, capítulo 3

conjunto con todas las entidades el Plan Nacional de Contingencia para la Temporada Seca y del Fenómeno El Niño, el cual contempla 4 etapas: Preparación y Alistamiento; Atención; Recuperación y Evaluación. En la Figura 35 se muestra la cadena de comunicación para la activación del SNGRD por un fenómeno El Niño el cual implica la preparación para afrontar una sequía.

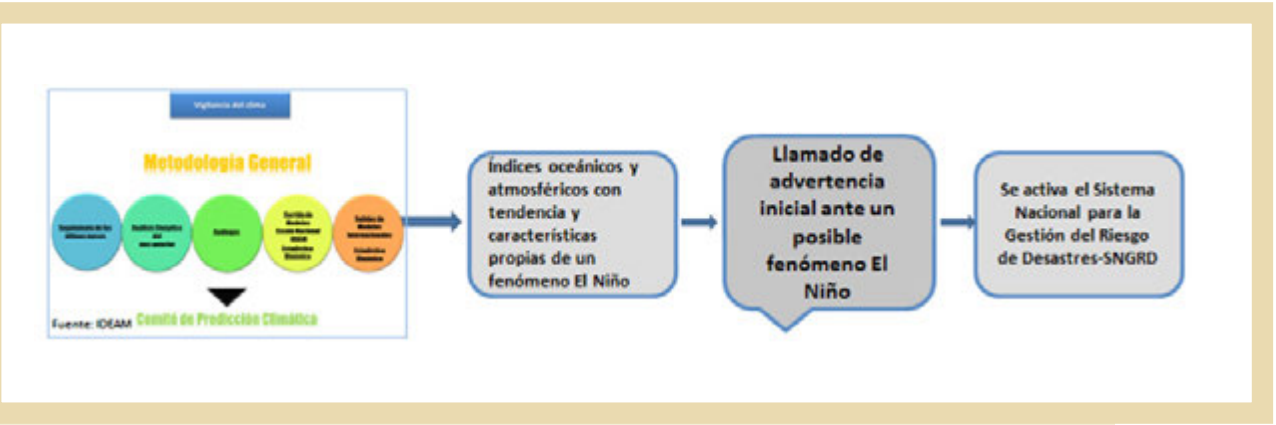


FIGURA 35.

Proceso para emitir la Alerta por Fenómeno El Niño y temporada seca. Fuente UNGRD, 2017

Para ilustrar cómo se gestiona el riesgo de desastres por Sequía en Colombia bajo las directrices de la Política Nacional coordinada por la UNGRD, en la Figura 36 se reseñan las alertas emitidas y las acciones que se siguieron para afrontar el reciente Niño 2014-2016, en donde con una inversión de 1.6 billones de pesos, se puso a prueba toda la capacidad del Gobierno Nacional y la corresponsabilidad de los alcaldes, gobernadores y la comunidad, para atender los efectos e impactos de la sequía en el país.

© Pixabay/teetasse, CCo Creative Common

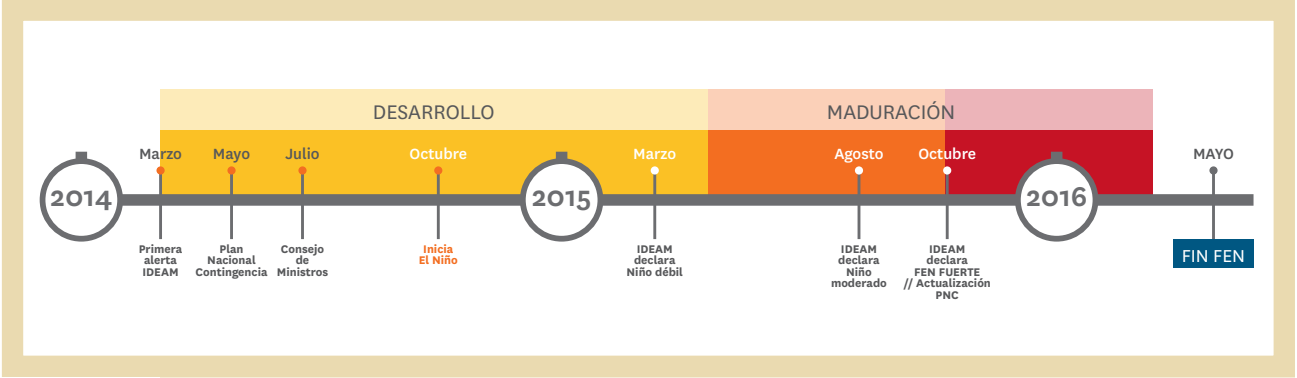


FIGURA 36.

Sistema de alerta temprana seguida en el Fenómeno El Niño 2014 – 2016. Fuente UNGRD, 2016

La UNGRD ha manifestado que los resultados de las acciones anteriores demuestran que a pesar de que se ha avanzado en el conocimiento de los efectos climáticos y sus impactos socioeconómicos por fenómenos de variabilidad climática, aún hay desafíos y muchos factores por resolver. Con el Plan puesto en marcha se evidenciaron lecciones que permiten fortalecer al país en materia de gestión del riesgo, entre ellas:

- Articulación de las entidades gubernamentales, territoriales y sectoriales.
- Puesta en marcha de Planes sectoriales.
- Consolidación permanente de la información generada en el territorio.
- La rápida toma de decisiones frente a cada acontecimiento derivado por el evento El Niño.
- La necesidad de mantener y fortalecer el Centro Nacional Logístico.
- Las acertadas estrategias de comunicación para informar acerca de la ocurrencia de emergencias en el país[10].

Es así cómo durante el año 2017, la Unidad Nacional para la Gestión de Riesgos de Desastres lideró un proyecto Piloto sobre "Alerta Temprana para Sequía en Colombia" auspiciado por la Secretaría de la Convención de las Naciones Unidas de lucha contra la desertificación-UNCCD, siendo ésta una iniciativa de la misma entidad y la cancillería colombiana a partir de las discusiones que se dieron en el comité del ERFEN (Estudio regional para el fenómeno El Niño).

Este proyecto se constituyó en un esfuerzo investigativo y técnico ante la necesidad de fortalecer la comunicación entre todos los sectores, impulsando talleres para compartir experiencias, conocimientos y grupos de los sectores más afectados por la sequía (agricultura, agua, ambiente, salud y energía entre otros), propiciando la incorporación de la información en sus planes de reducción del riesgo de todos los sectores que sirviera de mecanismo de acción interinstitucional en el país para los tomadores de decisiones con la construcción de las perspectivas estacionales.

Con el fin de incorporar elementos de monitoreo para la sequía, se generó en este proyecto una propuesta de un Sistema de Alerta Temprana integrando todos los indicadores de sequía usados para vigilancia específica de acuerdo a cada sector, con el apoyo de todas las entidades sectoriales públicas y privadas, de carácter nacional, regional y local que se ven afectadas por déficit hídrico, temperaturas altas etc., siendo estos algunos efectos climáticos de una sequía.

10 La Gestión del Riesgo de Desastres frente a los impactos por el Fenómeno El Niño en Colombia. (Presentación en PowerPoint). UNGRD. (2016).

© Pixabay/ Flo K - CCO Creative Commons

Sin desconocer la dificultad de emitir una alerta por sequía, los esfuerzos que se hacen en las instituciones están encaminados a predecir un fenómeno de El Niño y se han creado instancias, comités y grupos de apoyo que hacen parte del SNGRD tales como:

- Comité de Predicción Climática: coordinado por el IDEAM
- ERFEN: Estudio regional para el fenómeno El Niño, el cual se enmarca en la Comisión Permanente del Pacífico Sur- CPPS, operando desde 1977.
- Mesas agroclimáticas: Bajo la coordinación del Ministerio de Agricultura y el IDEAM.
- Mesas sector Salud: Bajo la coordinación del IDEAM y Ministerio de Salud.
- Los Foros Climáticos o los Foros Regionales sobre la evolución probable del clima-FREPC se implementaron hace 20 años y son patrocinados por la Organización Meteorológica Mundial-OMM; actualmente hay 19 foros operativos repartidos en todo el mundo, Colombia participa de estos foros.
- Colombia hace parte del CIIFEN que se crea a partir de la propuesta sobre acciones inmediatas para evaluar la factibilidad de establecer un Centro Internacional de Investigación sobre El Fenómeno El Niño / Oscilación Sur (ENOS) en Ecuador en la declaración de Guayaquil del 13 de noviembre de 1998 como respuesta a la resolución 54/220 de la Asamblea General de Las Naciones Unidas sobre Cooperación Internacional para reducir el Impacto negativo del Fenómeno El Niño.

No obstante, los desafíos del país están en lograr unificar la toma de datos a nivel local, regional y nacional para obtener bases de datos que permitan analizar la información a nivel técnico para desarrollar indicadores de sequía y así mejorar a nivel local y sectorial la alerta temprana.

De igual manera queda el desafío de logar la unificación de la toma de datos e información que se requiere por sector para poder desarrollar metodologías de cálculo de pérdidas e impactos socio-económicos asociados a las sequías y por último poner en marcha una plataforma de integración de la información con fines de monitoreo de la sequía, de fácil interpretación y consulta, además con productos adecuados que de manera efectiva comuniquen la tendencia hacia la sequía para tener comunidades más preparadas, menos vulnerables y más resilientes.

ACRÓNIMOS Y SIGLAS

UNGRD: Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres.

SNGRD: Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres.

GRD: Gestión del Riesgo de Desastres

UNCCD: Convención de las Naciones Unidas de lucha contra la Desertificación y la Sequía.

IDEAM: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales

DANE: Departamento Nacional de Estadística

DIMAR: Dirección General Marítima.

IGAC: Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

SGC: Servicio Geológico Colombiano

ERFEN: Estudio Regional del Fenómeno El Niño

INVEMAR: Instituto de Investigaciones Marinas

PNNC: Parques Nacionales Naturales de Colombia

ECUADOR

AUTORES

Amparo de Lourdes Cóndor Quishpe[1], René Alcibíades Moya Silva[1], Oscar Marcelo Ayala Campaña[1], Gilma Bertilda Carvajal Mera[1] y Wellington Augusto Bastidas Guevara[2]

[1] Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), Agrometeorología, Quito, Ecuador.

[2] Secretaria Nacional del Agua (SENAGUA), Quito, Ecuador.

© Pixabay/Dimitris Vetsikas, CCo Creative Commons

Introducción

DEBIDO A LAS CARACTERÍSTICAS SOCIOECONÓMICAS Y AMBIENTALES, EL ECUADOR al igual que América Latina es vulnerable a los desastres por los fenómenos naturales (Audefroy, 2013); (Sánchez, 2016). Además, el país muestra un nivel alto de vulnerabilidad frente al cambio climático por su dependencia directa de la disponibilidad del recurso hídrico (Mora, 2014) (PACC, 2009); (MAE, 2017).

El territorio ecuatoriano está ubicado sobre una región geodinámica activa (Basabe, 1996), debido a estas condiciones geomorfológicas, el país está expuesto a fenómenos hidrometeorológicos (sequías, inundaciones, deslizamientos) y eventos geofísicos (sismos, erupciones volcánicas y deslizamientos) que elevan el índice de vulnerabilidad de la población y de las Instituciones Estatales (SGR, 2012), situación evidenciada en el terremoto del 16 de abril del 2016 (SGR, 2018).

De los 29 desastres naturales de gran escala que han afectado al país en los últimos veinte años, el 59% tenía origen climático que ha generado inundaciones, sequías y temperaturas extremas (FAO, 2008), provocando desplazamientos de la población, venta de activos familiares, suspensión de servicio eléctrico, disminución en la productividad, racionamientos de agua, entre los principales (SGR, 2018).

La sequía como desastre natural ha resultado perjudicial para el país, solamente en el 2009 fueron afectados 744 665 habitantes y provocó pérdidas económicas que bordearon los 4.1 millones de dólares, durante el año 1997 los arroyos y pozos poco profundos se secaran generando desabastecimiento de agua potable sobre todo a las poblaciones de Loja y El Oro (SENAGUA, 2016).

Entre los factores que inducen la sequía en el Ecuador están: el fenómeno El Niño en su fase fría, la deforestación, ciclos estacionales anómalos, eventos hidrometeorológicos extremos por déficit de precipitaciones (Arteaga, 2006). Su implicaciones han tenido alcance en todo el territorio nacional, existiendo zonas secas y muy secas en las que los impactos son evidentes y se han presentado con mayor frecuencia y/o severidad, entre las que se encuentran la región suroccidental del país, la zona centro-occidental de la Costa y la región central de la Sierra ecuatoriana (SGR, 2018).

LA OCURRENCIA DE EVENTOS DE SEQUÍA EN ECUADOR

Al analizarla como un fenómeno natural, la sequía se ha presentado de forma repetitiva en ciclos específicos en varias regiones del país y se ha intensificado por los evento ENOS (El Niño Oscilación del Sur) (Santos, 2016). Aunque cabe mencionar que los eventos de sequía no se debe únicamente a las condiciones climáticas de una cuenca o región, si no a la propia gestión hídrica del recurso hídrico sobre todo cuando existen épocas con menos precipitación (Araneda, 2017).

Sin embargo, según la Dirección Nacional de Recursos Naturales (DINAREN), "las sequías en general que pudieran haber afectado al país no entraron en los registros ya que su impacto no ha sido considerable, sobre todo a nivel de la producción y la economía nacional", no se conocen registros históricos del país, que aseguren la existencia de "grandes o verdaderas sequías" (Fajardo, 2008).

Existe información histórica, desde la época Colonial y comienzos de la época Republicana del Ecuador, que indican que el país ha sufrido los impactos de la sequía con diferente duración, magnitud e intensidad. Usando documentación histórica se determinó la ocurrencia de sequías desde inicios del siglo XVII, particularmente en los años 1621, 1652, 1669, 1683, 1693, 1693-1694, 1698-1699, 1787, 1797. Los calificativos que la gente de la época utilizó para referirse a estos eventos fueron, por ejemplo: "terribles sequías", "prolongadas sequías", "devastadoras sequías", "persistentes sequías". La ocurrencia de este fenómeno generó pérdidas de cosechas, hambrunas, enfermedades y muerte de animales debido a la falta de alimento, entre otros efectos (Terneus, 2006).

De manera más reciente, según datos del Inventario histórico nacional de desastres de Ecuador, en el país, se destacan 101 registros de eventos de sequías durante el periodo 1970 al 2007 (OSSO, 2018). A modo de ejemplo, la Figura 37, muestra la ocurrencia histórica de eventos de sequía en Ecuador durante los últimos 55 años.

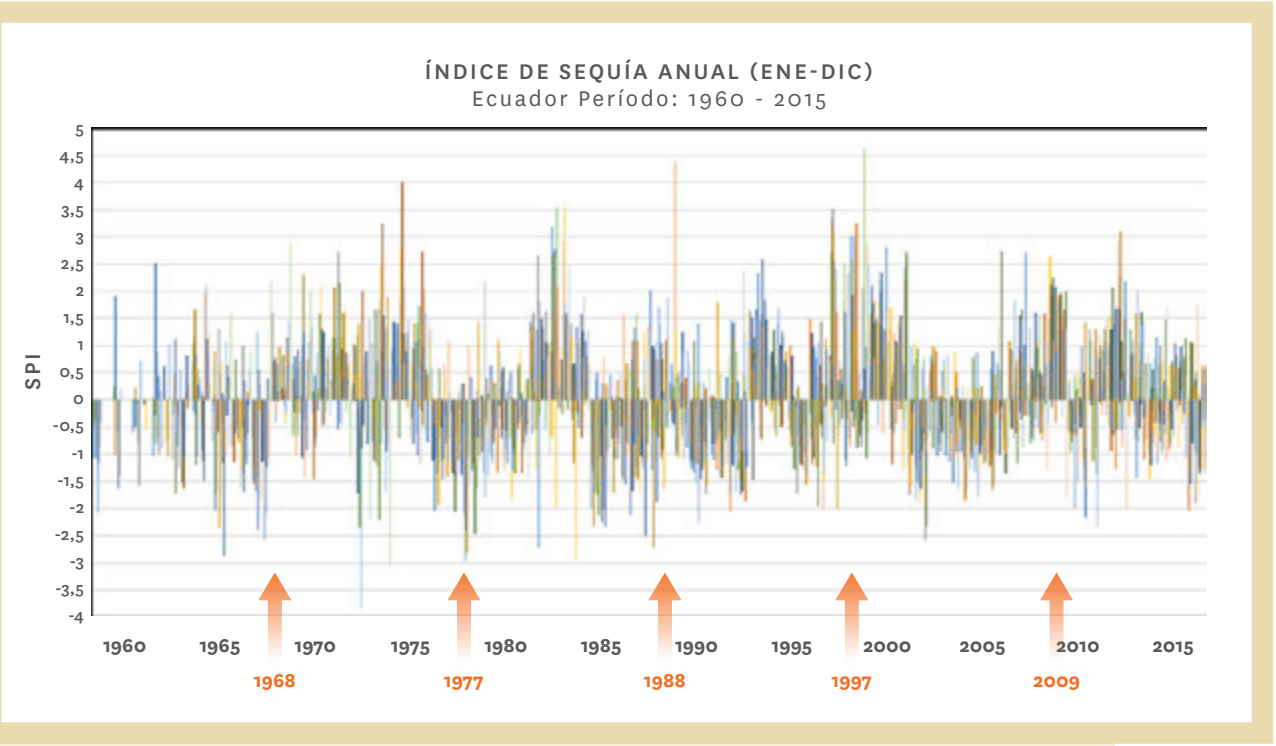


FIGURA 37.

Evolución histórica de las sequías reportadas en Ecuador estimadas a partir del Índice Estandarizado de Precipitación (SPI). Fuente: INAMHI (2018)

LOS IMPACTOS DE LA SEQUÍA EN LOS DIFERENTES SECTORES DE ECUADOR

La ocurrencia de sequías en el Ecuador han generado impactos significativos en el sector agroproductivo, energético, consumo y uso de agua, e incluso ha influido en las decisiones económicas, políticas y/o sociales, como lo ocurrido en el caso de la sequía del año 1996-2001, que motivó a los pobladores de

Loja a la migración local e internacional (Gray, 2009). Durante el periodo 1988-1998 hay registros de que las provincias de El Oro y Manabí, en la región occidental, fueron las más afectadas por este fenómeno natural (4 episodios en 12 años). También fueron afectadas las provincias de Azuay, Guayas, Tungurahua, Pichincha, Esmeraldas y Carchi (Demoraes, 2016) (IRD, 2003).

En múltiples estudios realizados a finales de los años 70' y 80' por el "Programa Nacional de Regionalización" ejecutado por el Ministerio de Agricultura (MAG) y el Institute Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération (ORSTROM) actualmente IRD, se determinaron en el Ecuador zonas climáticas secas y muy secas con alta vulnerabilidad a los efectos de la sequía. Estudios actuales como el "Proyecto de Generación de Geoinformación para Gestión del Territorio Nacional" (2009-2015) ratifican la recurrencia de los eventos de la sequía de estas zonas, en particular en el Litoral ecuatoriano en las localidades de Santa Elena, Manabí, Guayas y hacia el sur occidente en El Oro. Con respecto a la Sierra, gran parte del territorio de Loja es afectado año tras años por la sequía. Otras localidades identificadas corresponden a Esmeraldas, en el Valle del Chota, el desierto de Palmira y el sector de Santa Isabel (Azuay) (MIDENA, 2015). Debido a esta problemática, instituciones como la Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA) se han enfocado en la construcción de megaproyectos a fin de reducir los riesgos por las sequías y dotar de agua a la población (agua potable y riego) en época de estiaje (SNGR, 2012).

Con respecto a Quito y Guayaquil, generalmente, las sequías no alteran significativamente al funcionamiento de estas ciudades, pero pueden afectar indirectamente a los cultivos que abastecen los mercados citadinos de legumbres, frutas y racionamiento de energía eléctrica (por la reducción del caudal en las represas de plantas hidroeléctricas) (Demoraes, 2016). En los últimos años se han presentado incendios forestales, como consecuencia de la sequía durante la época seca, eventos que se han constituido en un peligro al ecosistema y han requerido la intervención estatal (SGR, 2018).

A continuación, se presentan los registros económicos sociales de algunos de los eventos de sequía más significativos en el país.

1925-1926: Existe registro de una sequía de 8 meses y tuvo como causa la presentación del ENOS en 1925 el cual afectó la precipitación del segundo semestre de ese año y del primero de 1926, impactando negativamente la economía de varias regiones del Ecuador (Barrero, 2005).

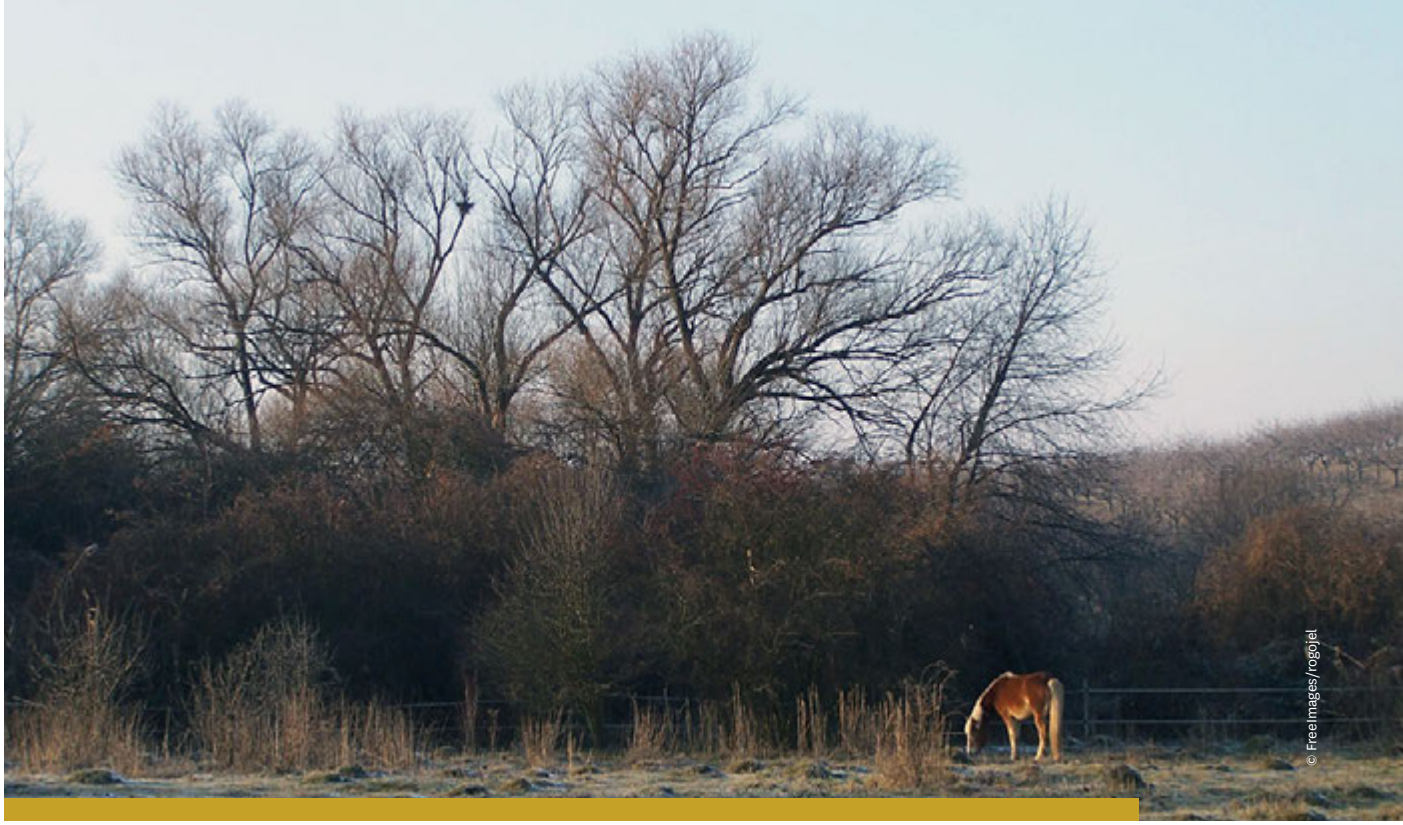
1968: En este año se presentó en la provincia de Loja, El Oro y Manabí, una de las sequías más devastadoras del siglo. En Loja, provocó un movimiento migratorio hacia el resto del país, especialmente a las ciudades de Quito, Guayaquil y la Región Amazónica. El censo de 1990 indica una reducción poblacional del 43% en esta provincia. Según la Organización de Estados Americanos (OEA), en Loja, las sequías abarcan entre el 10 y el 30% del área total de la provincia (Fajardo, 2008). Para hacer frente a la sequía se conformó una Comisión de Observación para las provincias de Loja, El Oro y Manabí; entre los resultados se encuentra que las pérdidas totales por los efectos de la sequía en la ciudad de Loja correspondieron al 68% de la producción agrícola y el 32% con respecto a la ganadería. En la provincia de El Oro se registró entre 15 a 20 000 personas afectadas por el fenómeno y pérdidas entre el 50 y 60% de los cultivos. En Manabí se estimó pérdidas en grandes extensiones de cultivos de ciclo corto y en el sector ganadero (Segovia, 1968).

1977: La sequía del año 1977 redujo la producción agrícola del Ecuador, y sus efectos fueron más fuertes durante el año 1978, viéndose afectados los sectores ganadero, silvicultora y pesca. (IICA, 1980).

1988: Las provincias de El Oro y Manabí han sido las más afectadas, habiendo también registro de afectación en las provincias de Azuay, Guayas, Tungurahua, Pichincha, Esmeraldas y Carchi. (Fajardo, 2008)

1997: La sequía durante este año afectó principalmente al zona sur occidental del país, específicamente Loja y El Oro, este evento extremo provocó que los arroyos y pozos poco profundos se secaran generando desabastecimiento de agua potable para la población (SENAGUA, 2016).

2009-2010: En las provincias del sur y centro norte del Ecuador se registraron 8620 hectáreas de cultivos devastadas por la sequía, las pérdidas llegaron a los 4.1 millones de dólares (Roja, 2009), a nivel país, fueron



afectados 744 655 habitantes (SENAGUA, 2016) . En la región costa, especialmente Manabí, Esmeraldas y Santo Domingo de los Tsáchilas los efectos fueron mayores, provocando carencia de alimento, pérdidas de 40.000 hectáreas de cultivos y pastizales, muerte de ganado y baja producción láctea (Roja, 2009). El gobierno ecuatoriano declaró el estado de excepción por déficit hídrico (sequía) con vigencia de 60 días para garantizar el agua y evitar conmoción en la población, según Decreto Ejecutivo No 146 del 20 de noviembre del 2009.

LA FRECUENCIA DE SEQUÍAS EXTREMAS EN ECUADOR

Las condiciones biofísicas y las modificaciones en los sistemas atmosféricos sobre el Pacífico provocan que el país sea propenso con frecuencia a fenómenos meteorológicos como la sequía, afectando con mayor énfasis a las provincias de Manabí y Santa Elena en la región costanera y a la provincia de Loja, El Oro en el sur del país. Estas localidades se caracterizan por presentar periodos secos y lluviosos durante el año, sin embargo, en épocas recientes la región costera y la región andina centro sur, han presentado un comportamiento climático inusual provocando la reducción de la disponibilidad de agua para el consumo humano, animal y la consecuente afectación de la seguridad alimentaria y economía de la población (Rivadeneira, 2017).

A fin de estimar la probabilidad asociada a un evento de sequía se dispone de los resultados del Atlas de Frecuencia de Sequías de América Latina y el Caribe, basado en la metodología de Núñez, *et al*. (2011,2016), para el caso particular de Ecuador. La Figura 38a, muestra los montos anuales de precipitación esperada para una sequía leve que ocurre una vez cada dos años, condición en que la precipitación varía entre 500 y 1000 mm en la zona centro sur-occidental de la Costa. En las estribaciones occidentales y orientales de la cordillera y en la región Interandina la precipitación varía entre 1000 – 1600 mm mientras que en la región Amazónica la precipitación varía entre 2000 – 4000 mm.

Para una sequía considerada extrema, como aquella que ocurre en promedio una vez cada 100 años, de acuerdo con la Figura 38b, la precipitación varía entre 250-400 mm en la zona centro sur-occidental de la Costa; en la región Interandina la precipitación varía entre 400-1750 mm y en la Amazonía la precipitación varía de 2000-2500 mm. De manera general se espera una reducción del 50% en todo el país.

Con respecto al Periodo de Retorno, el Atlas muestra que las sequías leves (equivalentes a un 10% de déficit respecto a la precipitación media anual) tiene periodos de retorno entre 2.2 años a lo largo del Ecuador, aquellas correspondientes a un 40% de déficit presentan periodos de retorno de 35-45 años en la zona centro sur-occidental de la Costa y en el resto del país pueden ser superiores, incluso a 85 años.

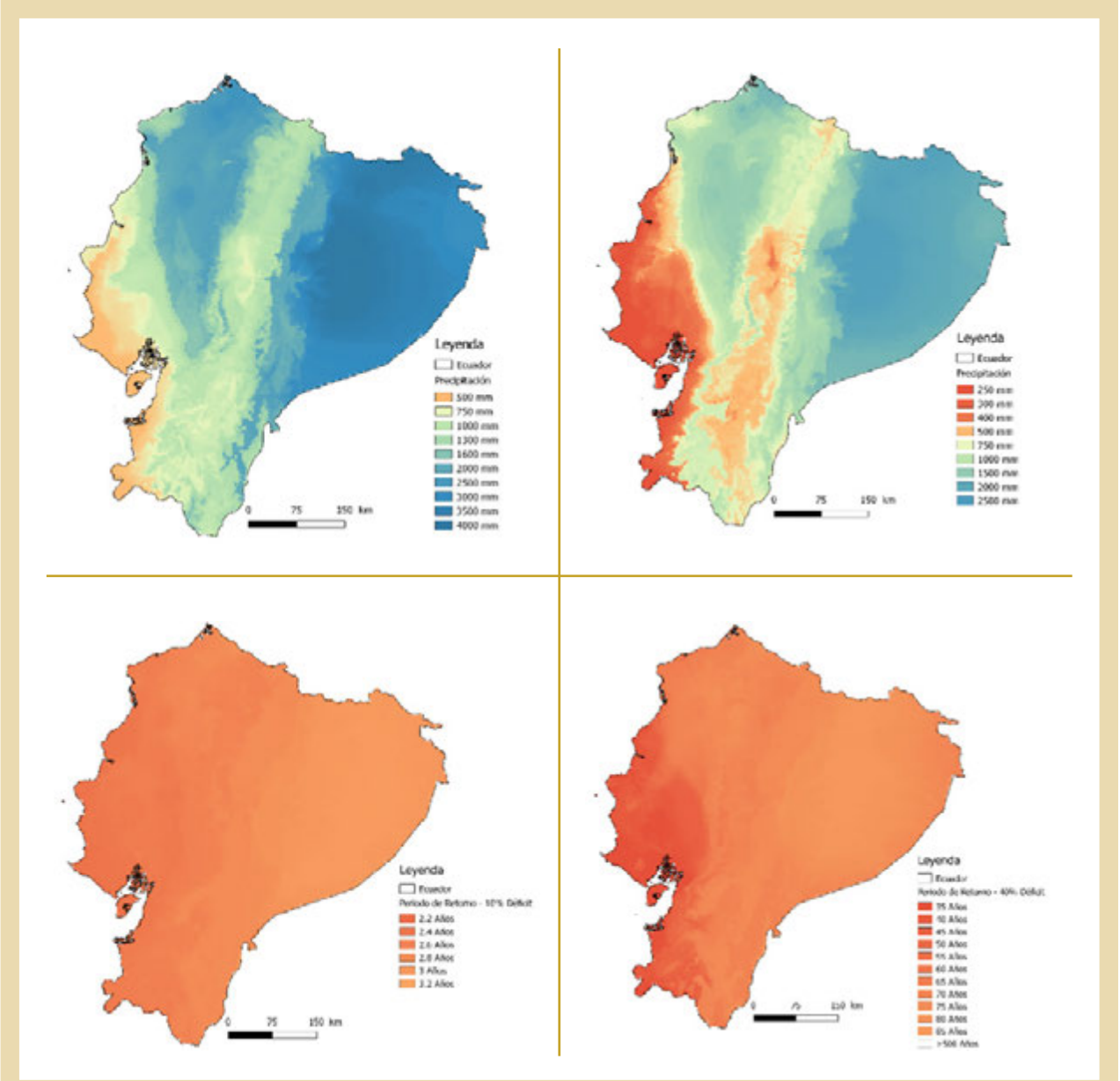


FIGURA 38.

Mapas de precipitación anual esperada para una sequía esperada en a) 1 en 2 años y b) 1 en 100 años. Mapas de periodo de retorno para una sequía equivalente a un c) 10% de déficit y d) 40% de déficit.

LA GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES POR SEQUÍA EN ECUADOR

Según la FAO, el 27% de las pérdidas de la producción agrícola entre el 2003 y 2013 en los países de América Latina y el Caribe se debe a la sequía (FAO, Lineamientos y recomendaciones para la implementación del Marco de Sendai para la reducción del Riesgo de Desastres en el Sector Agrícola y Seguridad Alimentaria y Nutricional de América Latina y el Caribe., 2017). En el Ecuador, por su parte, los desastres de mayor magnitud generan pérdidas de diferente impacto y debido al régimen climático del país, la ocurrencia de fenómenos hidrometeorológicos (FH) está latente (OSSO, 2018). Por ello, la Gestión de Riesgos en el país,

fue elevada a política pública durante la aprobación de la Constitución de la República del Ecuador del año 2008 y en ella se creó el Sistema Nacional Descentralizado de Gestión de Riesgos (SNDGR), cuya rectoría ejerce la Secretaria de Gestión de Riesgos (SGR, 2010).

El titular de la Secretaría de Gestión de Riesgos, tiene la competencia exclusiva de declarar los diferentes estados de alerta de las distintas amenazas (de origen natural o antrópico/antropogénico), en cualquier ámbito territorial, en base a la información proporcionada por las instituciones técnico– científicas nacionales o internacionales, o por las entidades responsables del monitoreo y de acuerdo a la amenaza, debidamente autorizadas por la SGR, Figura 39.

La declaratoria del estado de alerta tiene un carácter oficial y debe disponer de los canales de difusión necesarios que permitan la rapidez, claridad, oportunidad y coherencia, para el conocimiento de la población, estructuras gubernamentales, instituciones y organizaciones.

Para la declaración de los estados de alerta, la SGR tiene como soporte técnico–científico, a nivel nacional a:

- Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional - IGEPN, para sismos y erupciones volcánicas.
- Instituto Nacional de Investigaciones Geológico, Minero, Metalúrgico – INIGEMM, para fenómenos de remoción en masa (deslizamientos, hundimientos, derrumbes, aluviones, etc.).
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología INAMHI, para fenómenos meteorológicos e Hidrológicos.
- Instituto Oceanográfico de la Armada INOCAR, para tsunamis, marejadas y eventos oceánicos en general.
- Otros instituciones, organizaciones u organismos responsables de monitoreo de otras amenazas.

Los flujos de información entre las instituciones técnico – científicas mencionadas y la SGR, a través del área encargada del monitoreo de eventos peligrosos, dispone de protocolos operativos acordados en funcionamiento las 24 horas del día, y que son de estricto cumplimiento para las partes.

© Pixabay/Dimitris Vetsikas, CCo Creative Commons

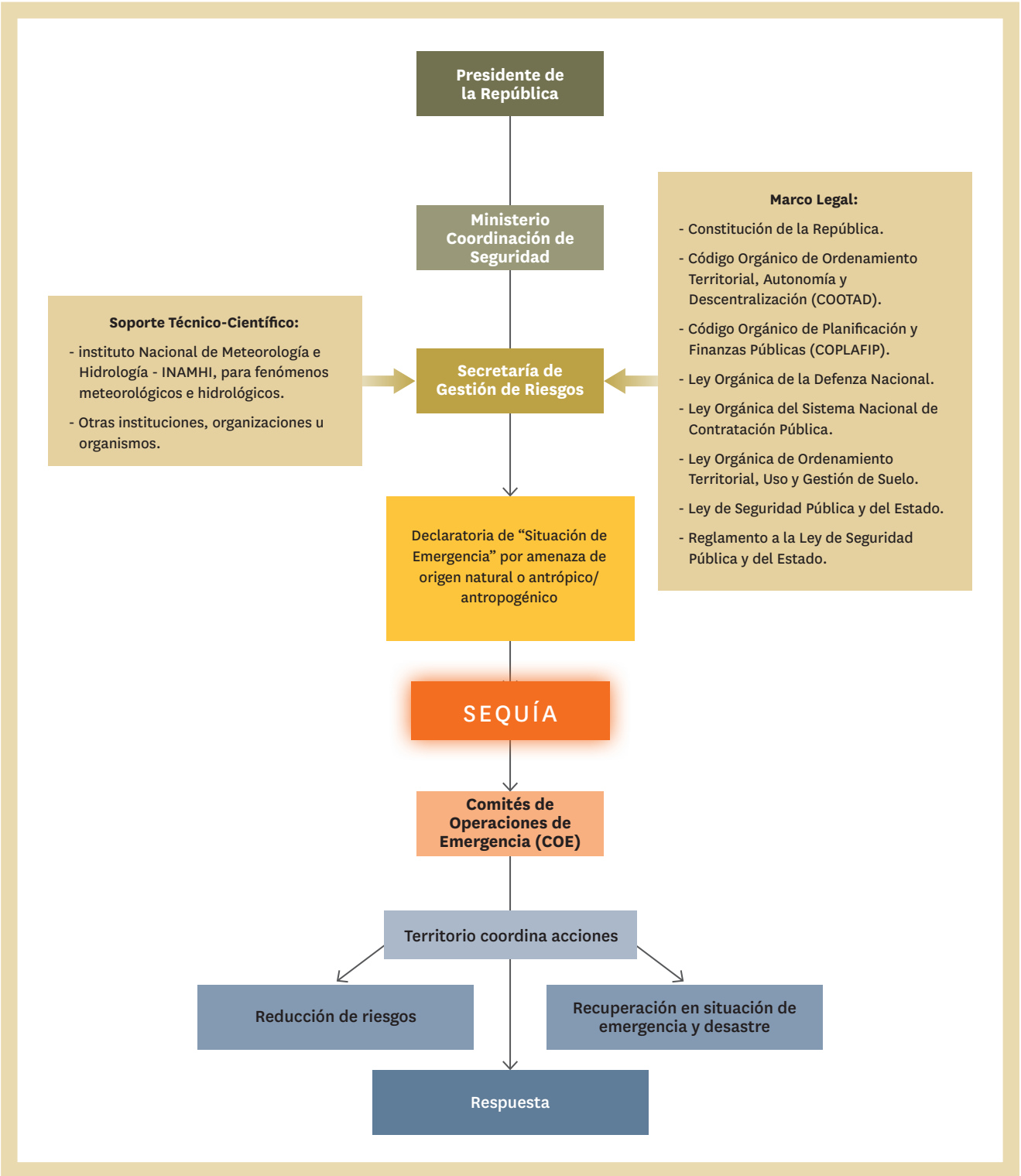
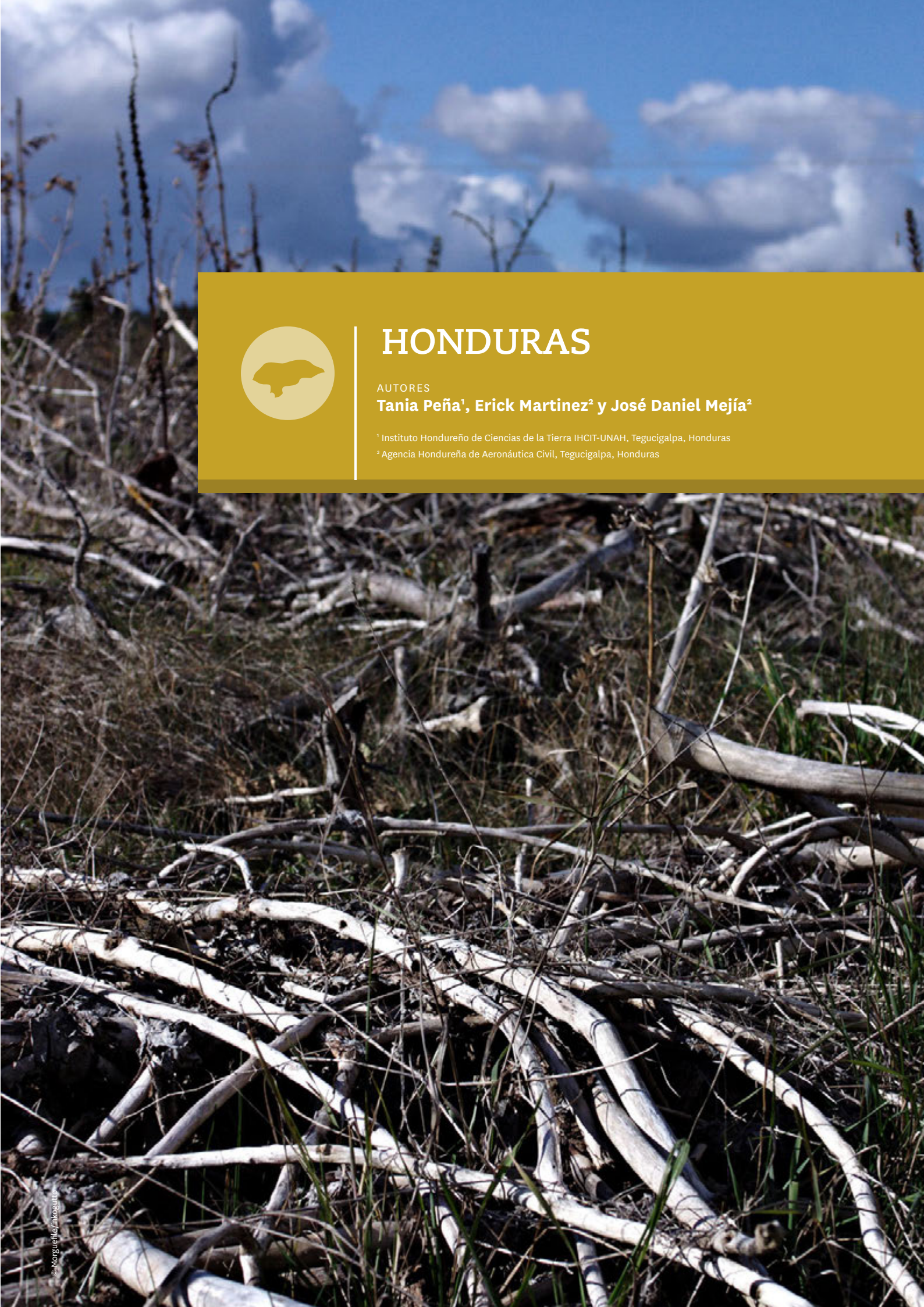


FIGURA 39.

Paisaje institucional de la sequía en Ecuador

A pesar de que existe actualmente una organización gubernamental estructurada para la emisión de alertas y gestión del riesgo ante eventos extremos, Ecuador carece de una propuesta institucionalizada para implementar redes de monitoreo o programas específicos para el estudio de sequía (meteorológica, agrícola e hidrológica), a fin de establecer medidas de protección, adaptación, mitigación y restauración, pues por sus características, la sequía es de lento y/o progresivo desarrollo, acompañado con efectos secundarios sociales, económicos y ambientales (SNGR, 2012).



HONDURAS

AUTORES
Tania Peña[1], Erick Martinez[2] y José Daniel Mejía[2]

[1] Instituto Hondureño de Ciencias de la Tierra IHCIT-UNAH, Tegucigalpa, Honduras
[2] Agencia Hondureña de Aeronáutica Civil, Tegucigalpa, Honduras

© Morguefile/inkogutto

Introducción

LA VARIABILIDAD INTERANUAL DE LAS PRECIPITACIONES ESTÁ OCASIONADA POR LA presencia frecuente de eventos secos y eventos húmedos que, en algunas ocasiones, producen graves inundaciones, sequías de manera que las consecuencias de estas situaciones extremas impactan sobre el desarrollo social, económico y ambiental del lugar.

El término *sequía* en el país se asocia a las pérdidas en la producción y falta de agua para el abastecimiento general de nuestras actividades. Son pocos los estudios sobre la sequía y sus impactos en Honduras, que exponen su área de influencia[11]. Sin embargo, hace falta el detalle de la sequía operacional, que define la interacción que tiene el tiempo-sociedad-sequía, y asimismo de una definición más próxima y certera del término. Igualmente, vinculado al tema de cambio climático, para el caso de Honduras, este ha sido ha reconocido se ha valorado como el país con el riesgo climático más alto en el planeta[12] (Germanwach, 2015), donde enfrenta el desafío de mejorar su capacidad de adaptación y hacer frente a los impactos esperados del cambio climático, además de los impactos actuales a su dinámica económica y social debido a la variabilidad climática.

En el contexto de la variabilidad climática, años con presencia del fenómeno de El Niño, principal modulador de la variabilidad climática interanual, han sido la causa de importantes pérdidas económicas para el país, como ha sido reportado por distintas instituciones del Estado encargadas del tema[13]. Por ejemplo, en los últimos cinco periodos secos, las pérdidas en el sector agrícola fueron aproximadamente de USD 184,285,162.77 y en el sector pecuario de USD 74,562,626.59 (Kawas, 2011), lo cual afecta seriamente el PIB de Honduras y atenta contra la seguridad alimentaria del país[14].

Estudios a nivel nacional, evidencian la fuerte relación entre la severidad de la sequía y el comportamiento de los años El Niño (Considerando periodos basados en el umbral +/- 0.5°C para el Índice Oceánico del Niño ONI, correspondiente a la Región 3.4 (5°N-5°S, 120°-170°w)), y que los años El Niño muy intensos siempre se han asociado a sequías extremadamente severas. Sin embargo, en los años Niño débiles la severidad de la sequía se ha presentado, en términos generales, con intensidades bajas (Peña, 2013). Lo anterior evidencia el impacto del Niño en la variabilidad interanual, e incluso decadal, del país. La relación ENSO-Sequía reseñada ha llevado a las autoridades a establecer áreas priorizadas (Corredor seco), comités de emergencia y priorización de recursos para enfrentar los eventos de sequía vinculados a las condiciones El Niño.

11 A. PMDN-COPECO (2010) Corredor seco de Honduras; B. IHCIT-UNAH (2011) Índice de aridez; C. ECHO-FAO (2012) Estudio de caracterización del corredor seco centroamericano.

12 El IRC (Índice de Riesgo Climático Global) de Germanwatch es un análisis basado en una de las compilaciones de datos más fiables sobre los impactos de los eventos climáticos extremos y los datos socioeconómicos asociados. El IRC de Germanwatch para el año 2015 es la décima edición del análisis anual.

13 Secretaría de Agricultura y Ganadería (SAG) y Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente (MiAmbiente).

14 En Honduras se estima que 500 mil fincas se dedican al cultivo de granos básicos, de las cuales 220 mil familias cultivan para el autoconsumo. El 18% de la tierra cultivable del país se utiliza en la producción de granos básicos. SAG-PRONAGRO, 2012.

LA OCURRENCIA DE EVENTOS DE SEQUÍA EN HONDURAS

En general el fenómeno de la sequía, así como el de la canícula, muestra un comportamiento dinámico en el territorio nacional, existiendo algunas regiones con condiciones críticas de disponibilidad de agua, acentuándose en ciertos periodos del año: tal es el caso del mes de abril que se caracteriza por tener una ausencia de la precipitación más marcada.

La Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo (CCAD) informó que en los últimos sesenta años se han observado alrededor de diez eventos "Niños", extendidos entre doce y treinta y seis meses. La sequía en Centroamérica tiene un efecto en la distribución anómala de la precipitación dentro del periodo lluvioso, especialmente en los inicios de la lluvia y posterior al periodo canicular.

El denominado corredor seco de Honduras se caracteriza, además, por precipitaciones irregulares, los periodos de canícula son más extensos y se intensifican cuando está presente el fenómeno de El Niño, esto ocurre porque se reducen las lluvias entre un 30-40% (*FAO, impacto de la sequía, zona sur*, 2012). En el 79% de los mil ochocientos (1,800) casos de pérdidas por sequías reportados, la duración media es de dos meses o menos y solo en los eventos más críticos la anomalía es aumentada por un déficit de precipitación total anual o se prolonga a todo el periodo de la postrera que es de agosto a octubre (Cabrera, 2013).

Cuando la sequía se presenta, la precipitación total anual, en la mayor parte del país, se ubica por debajo a la media histórica; sin embargo, las lluvias en la vertiente del Pacífico siguen un patrón anormal muy por debajo de esta media. Generalmente, bajo este patrón el periodo lluvioso se inicia temprano, sea en abril o mayo y la precipitación se comporta ligeramente por encima de lo normal, luego, en junio se reduce, manteniéndose en julio y agosto por debajo del promedio. Después, en septiembre y octubre, la precipitación puede ser superior o inferior a la media histórica y generalmente el periodo lluvioso se suspende de forma temprana a mediados de octubre (CEPAL- CCAD, 2002; Magaña *et al*, 1999; MAG-FOR, 2000; CCAD, 2010; MARENA, 2010; Brenes, 2010).

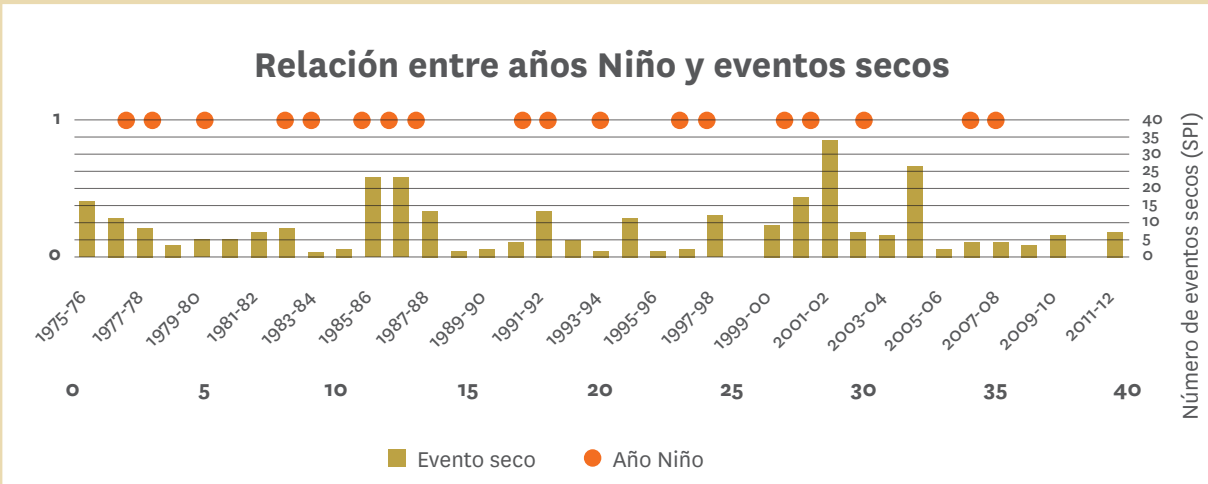


FIGURA 40.

Relación entre años Niño y eventos secos según el SPI. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del estudio "Análisis temporal de la sequía en Honduras - Índice de Precipitación Estandarizado (SPI)", por Josué Mejía, 2013.

En los últimos años que es donde se tiene el mayor registro, se tiene periodos secos más que intensos de mayor duración, generando impactos en la producción, seguridad alimentaria, economía y ecosistemas de la región, junto a un incremento de los procesos de degradación de tierras en el país el cual se ha agudizado en esta última década, por lo que los impactos de estas sequías en cuanto a duración son mayores.

© Pixabay/Ratfink1973. CCo Creative Commons

Si solo se tienen en cuenta las categorías muy secas y extremadamente secas (Figura 40) se observa la relación que existe entre los eventos secos y los años en los que aparece el fenómeno El Niño; en estos años los eventos secos superan en cantidad a los eventos húmedos, y la intensidad no está relacionada con la duración. El fenómeno El Niño provoca disminución de lluvias durante casi toda la temporada lluviosa, en especial en el mes de agosto y octubre donde el déficit de lluvia fácilmente supera el 60 % (Mejía, 2013). Cuando el evento es débil llueve temprano en abril y mayo en el sur, cuando es moderado llueve más en junio, luego se vuelve deficitario para las regiones centro, sur oriente y occidente del país (Argeñal, 2010).

LOS IMPACTOS DE LA SEQUÍA EN LOS DIFERENTES SECTORES DE HONDURAS

Durante las épocas de sequía la producción de los cultivos básicos se ven fuertemente afectadas en calidad y cantidad. El fenómeno de El Niño se manifiesta en con eventos de sequía prolongados, en especial en la región del Pacífico, afectando en gran medida a cultivos de granos básicos, la producción de camarón, ganadería y aves; esta última en menor cantidad. Así también la población se ve afectada por la proliferación de vectores y enfermedades, particularmente respiratorias, asociadas al clima.

Se puede decir que el fenómeno de El Niño es el mayor causante de pérdidas en el sector agrícola en la región Sur, y Sur - Occidente de Honduras. De los datos obtenidos en los últimos 30 años se tienen aproximadamente 21500,000 personas afectadas (CEPALSTAT, 2018) y 3001millones de USD en pérdidas agrícolas y pecuarias (Figura 41). Algunos de los eventos de sequía más significativos vinculados a la ocurrencia de años El Niño se presentan a continuación:

1930-1932

Los registros históricos indican que durante este evento hubo una importante migración de la zona sur, en específico de los municipios de Langue, San Francisco de Coray, entre otros, hacia la zona norte del país en lo que se conoce como el Valle de Sula (Progreso en principal), donde actualmente existen rutas de buses entre estas ciudades (Langue - Progreso). lo que resulta de difícil explicación para la época, debido a la ausencia de relaciones de comercio u otra actividad económica entre ambas regiones. Aunque no se dispone de datos de las poblaciones migrantes, afectados u damnificados, entrevistas a personas mayores dan cuenta de haber migrado por “La gran sequía”, estableciendo la conexión familiar entre estas comunidades. Este periodo fue categorizado por la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA) de Estados Unidos como un año Niño medio (1932).

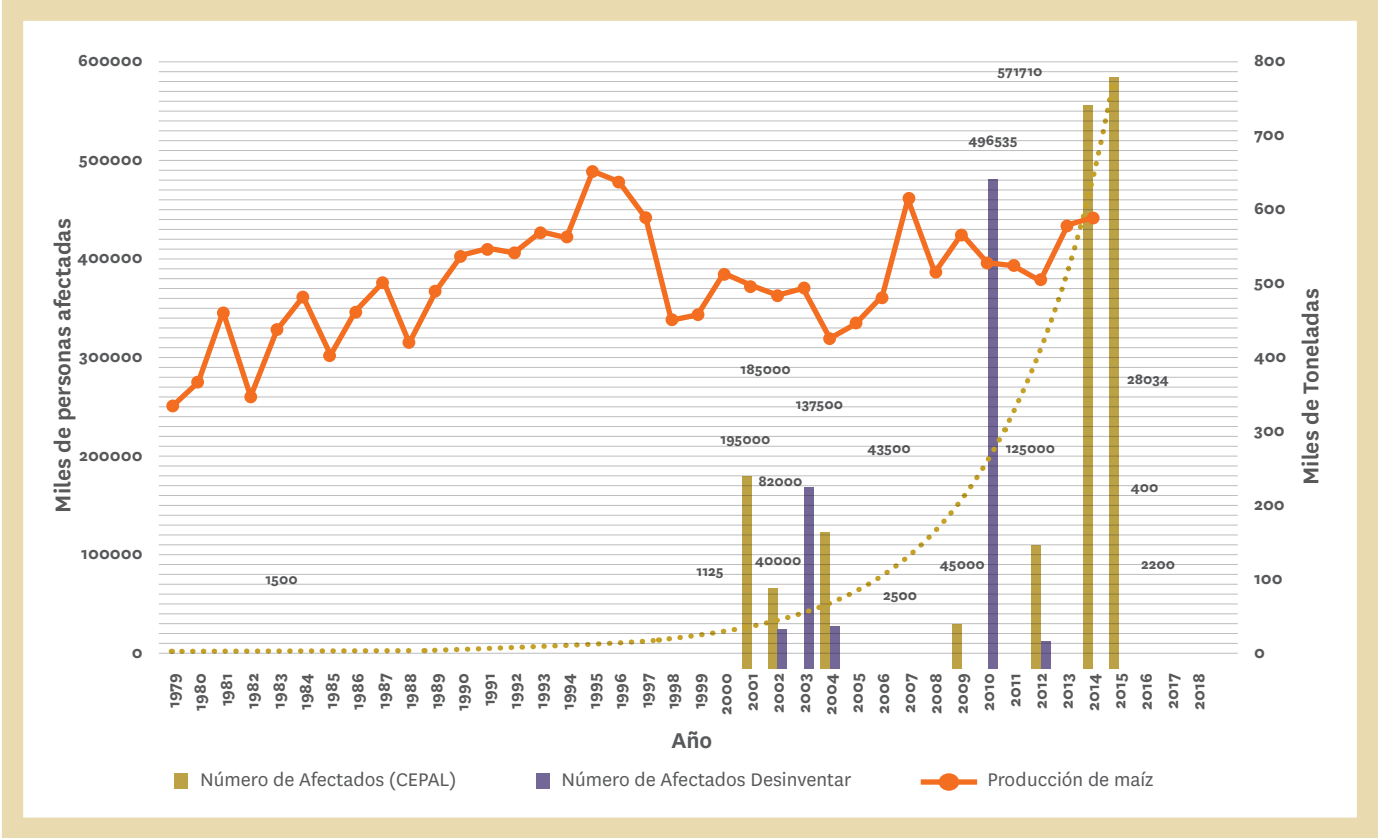


FIGURA 41.

Número de personas afectadas y producción de maíz

1982-1983

El gran evento de El Niño que tuvo lugar los años 1982 y 1983 (Figura 43; Tabla 4)) provocó importantes desastres alrededor del mundo, mostrando tanto a la comunidad científica como a las autoridades de diferentes naciones, la necesidad de estudiar el fenómeno en detalle a fin de lograr predecirlo y mitigar sus impactos (Montecinos, 2000). Desde entonces, se han desarrollado grandes esfuerzos para su caracterización, tanto en el ámbito teórico y de modelación, como en el ámbito de las observaciones, tanto a nivel mundial como regional. La sequía que produjo este evento, para Honduras, significo grandes pérdidas productivas (300 Ha de bosque y cultivos se perdieron) con registros de afectados que rondan las 1500 personas (DesInventar, 2018). Se tuvo además para el mes de mayo para la zona sur del país 27 días sin lluvia, que en promedio se tienen solo 10 días.

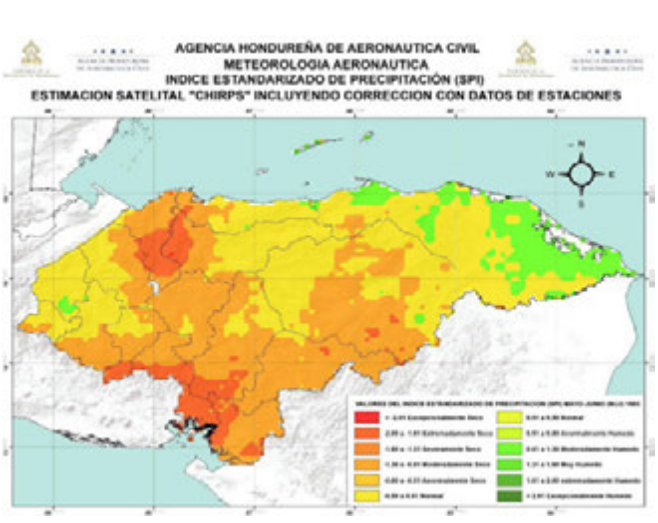


FIGURA 42.

Número de personas afectadas y producción de maíz

TABLA 4 DÍAS CON PRECIPITACIÓN = 0.0 MM. AÑO 1983.

	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT
CHOLUTECA (ZONA SUR)	25	13	19	18	7	14
TEGUCIGALPA (ZONA CENTRAL)	27	14	15	15	11	14

1991

Este periodo seco duro 14 meses, siendo de los más largos en el siglo, con pérdidas en más de 320,000 Ha de bosque y cultivos. Aunque no se tienen muchos datos disponibles, existen variados reportes de pérdidas a nivel nacional para este año.

1997-1998

Este periodo seco, uno de los más largos registrados, se da a partir del mes de mayo de 1997 hasta el mes de mayo del 1998 (13 meses), presentando incrementos de temperaturas sobre la superficie del mar hasta 2.4˚C, considerado uno de los fenómenos más fuertes en su historia (Figura 43).

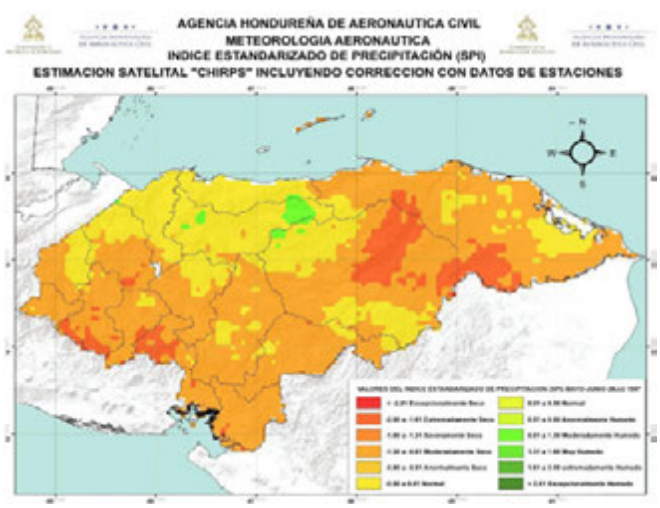


FIGURA 43.

SPS para el periodo de mayo-junio de 1997

En Honduras, las pérdidas fueron de aproximadamente $50.000.000 en diversos sectores como agricultura, turismo, generación hidroeléctrica, agua potable infraestructura física y otros. Se perdió el 95% de las cosechas de frijol, el 30% de las de arroz, el 30% de granos y hasta un 50% de las de maíz (Pecuario: 11.348.745,12USD, agricultura: 1.301.837,91 USD)[15]

En lo referente a los aspectos fluviales en Centroamérica durante los periodos de El Niño, los seis proyectos (1997-1998) llevados a cabo en los países centroamericanos bajo el nombre "Estudio técnico mejoramiento de la capacidad técnica para mitigar los efectos de futuros eventos de la variabilidad climática-El Niño" (CEPREDENAC/CRRH/BID), demostraron que hubo impactos muy significativos en la escorrentía superficial en casi todo el istmo, la mayoría por déficit en este parámetro, pero también por exceso en algunas regiones del Caribe. Es importante que mencionar que en 1998 se presentó el huracán MITCH que devasto al país con pérdidas de más de 41millones de dólares, equivalente al 70% PIB de ese año (CEPAL, 1999).

15 http://www.droughtmanagement.info/literature/UNW-DPC_NDMP_Country_Report_Honduras_2013.pdf

2002-2003

Tuvo una duración de nueve meses, presentando alzas en las temperaturas promedio de hasta 0.9 oC, las cuales llevaron a la pérdida de 2.400.000 Quintales de granos en general, de los cuales 40.000.000 USD equivalente al sector Pecuario y 37.000.000 USD al sector agrícola[16]; así mismo se registraron más de 37.700 atenciones médicas a afectados por los diferentes vectores y enfermedades que se cree surgieron producto de esta sequía.

2009-2010

La duración fue de diez meses, presentó una anomalía de temperatura oceánica de hasta 1.6 oC. Dicho fenómeno fue considerado uno de los más fuertes, teniendo 45.000 y 490.000 afectados en cada año, respectivamente.

2014-2016

El periodo de sequía más largo registrado en el país en estos últimos 15 años, 76,712 familias afectadas de pequeños productores para 2014; 100,000 familias afectadas directamente por pérdidas agrícolas (Figura 44). A nivel nacional se perdió el 25% de las cosechas, afectando en general para 2015 a más de 1,300,000 personas, siendo de los años secos el que ha registrado la mayor cantidad de afectados. Para el año 2015 la ciudad de Tegucigalpa registró 33.6 °C, un nuevo record de temperatura máxima, asimismo Amapala registrando en el mes de agosto del año 2015 una temperatura máxima de 40.5°C, estableciendo esta temperatura como la máxima registrada a la fecha, para esa zona.

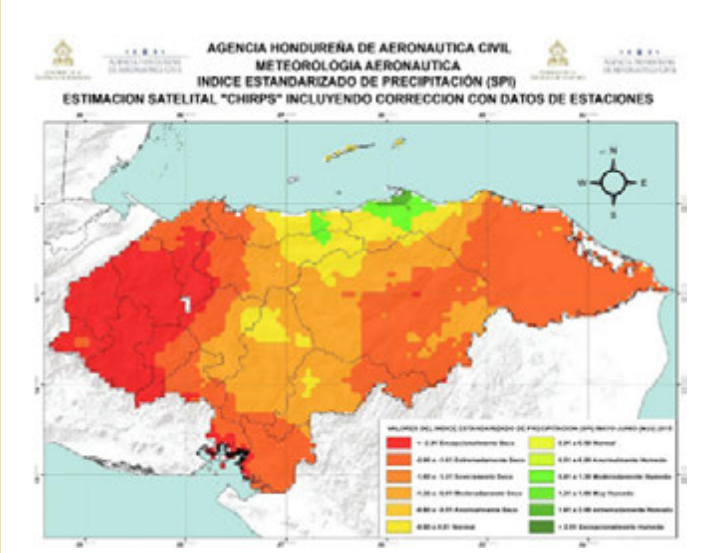


FIGURA 44.

SPI para el periodo de mayo junio de 2015

LA FRECUENCIA DE SEQUÍAS EXTREMAS EN HONDURAS

Dada su condición geográfica, el país presenta regímenes hídricos desde húmedos a subhúmedos secos, teniendo un 25% del territorio nacional está ultima condición (Cabrera, 2013). Como se mencionó en el apartado anterior, el istmo Centroamericano ha sufrido sequías extremas e intensas que han repercutido en graves impactos económico, humanos y sobre al ambiente, que no han sido totalmente cuantificados.

La recurrencia con la cual la sequía ha impactado el territorio nacional se evidencia en el Atlas de Frecuencia de Sequías de América Latina y el Caribe, para el caso particular de Honduras. La Figura 45a, por ejemplo, muestra los montos anuales de precipitación esperada para una sequía considerada leve —aquella que ocurre una vez cada dos años. Los montos de precipitación asociados varían entre 900 y 2750mm entre

16 http://www.droughtmanagement.info/literature/UNW-DPC_NDMP_Country_Report_Honduras_2013.pdf, Se estimaban 1.428.000 ha de superficie cultivable, la mayoría en las llanuras costeras. Principales cultivos comerciales, son: café y banano. Otros cultivos importantes son: la caña de azúcar y el aceite de palma, mientras que los destinados a la alimentación de la población son: maíz, sorgo, frijol, y arroz. El maíz, los frijoles y el arroz son los principales productos de la agricultura para consumo humano. En el sector de pecuario se produce en gran medida carne de res, carne de ave, y en menor. Durante las épocas de sequía la producción de estos cultivos se ve fuertemente afectada en calidad y cantidad.

las regiones sur-centro que es donde se dan los valores más bajos, la zona norte del país, y Lago de Yojoa con los valores más altos.

Para una sequía considerada extrema, en cambio, la Figura 45b muestra aquella que ocurre en promedio una vez cada 100 años. La precipitación asociada varía entre los 500 y 2250 mm a lo largo de la misma extensión sur centro y oriente. Esto es, reducciones en la precipitación anual que alcanzan valores de 50% en la zona suroriente y a 30% en la zona norte-centro. Estas cifras se corresponden, justamente, con las expuestas en el capítulo anterior para los años 1983 y 2015.

Por otro lado, en el caso del Periodo de Retorno con que ocurren en promedio los eventos de sequía, el Atlas muestra que se tienen periodos de retorno entre 2.8 – 4.2 años, Figura 45c, siendo para la zona sur-centro las más cortas y las más largas para la zona del Lago de Yojoa, lo anterior, para un déficit del 10%. En cambio, para el déficit del 40% (Figura 45d) se tienen periodos de retorno de 70 – 500 años, donde siempre se tienen para la zona centro sur los datos más cortos e intensos. Para Honduras esta variabilidad espacial-temporal define la zona más vulnerable a la sequía y que puede ser un criterio para la priorización de áreas vulnerables mediante el uso de instrumentos técnicos y de planificación en el país.

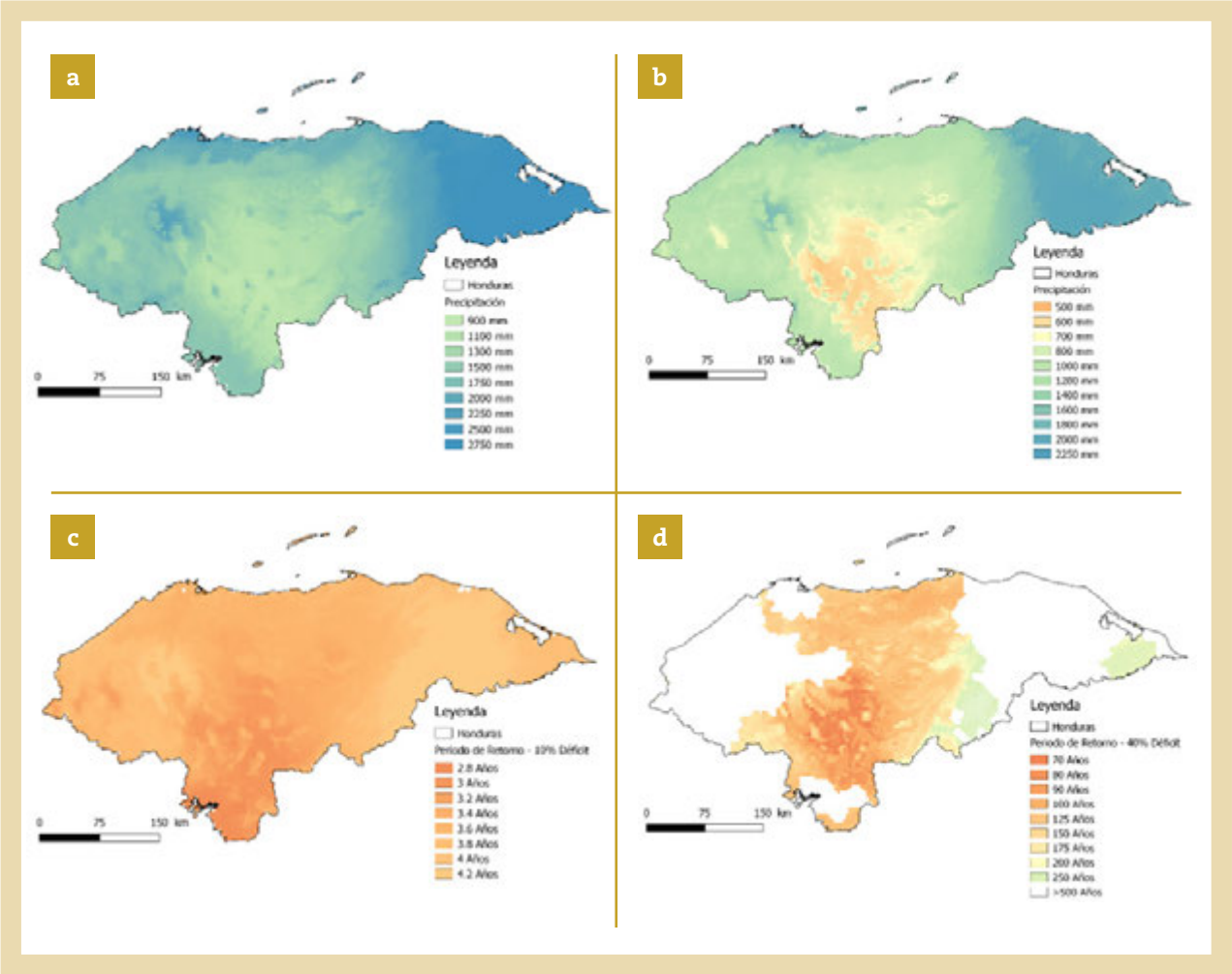


FIGURA 45.

Mapas de precipitación anual esperada para una sequía esperada en a) 1 en 2 años y b) 1 en 100 años. Mapas de periodo de retorno para una sequía equivalente a un c) 10% de déficit y d) 40% de déficit.

LA GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES POR SEQUÍA EN HONDURAS

La gestión del riesgo de desastres en Honduras, en general, se encuentra bajo el Sistema de Nacional de Gestión de Riesgos y Desastres - SINAGERD que es liderado por la Comisión Permanente de Contingencias – COPECO. Esta Ley nace con el objeto de ser el marco legal hondureño orientado a que el país cuente y desarrolle la capacidad de prevenir y disminuir los riesgos de potenciales desastres, además, de contribuir a la preparación, respuesta y recuperación de los daños reales provocados por los fenómenos naturales que impactan a la nación o por aquellos generados por las actividades humanas. En este sentido, COPECO en los últimos años ha liderado procesos como la creación de observatorios de sequía o comisiones del corredor seco, que gestionan la localización y gestión de fondos, acciones, programas y proyectos a las zonas afectadas, priorizando el sector productivo y los grupos más vulnerables.

Considerando lo anterior, para el país el punto focal de la Convención de las Naciones Unidad para la Lucha contra la Desertificación y la Sequía UNCCD, es la Secretaria de Energía, Recursos Naturales

Ambiente y Minas – MiAmbiente, misma que ha desarrollado el principal instrumento técnico en materia de degradación de tierras y sequía conocido como el Plan de Acción Nacional para la Lucha contra la Desertificación y la Sequía – PAN-LCD, de 2005 y que tuvo una actualización en 2014. De este modo, Mi Ambiente se constituye en protagonista institucional en la temática.

Así mismo, desde 2010 se vienen realizando múltiples investigaciones en torno a la comprensión de la sequía, sus impactos y la vulnerabilidad del medio ante sus efectos. Estas han permitido definir lo que es el corredor seco, variabilidad interanual y decadal e impactos a los diferentes medios. Se listan también programas y proyectos que han tenido una participación directa, como FAO, PNUD, COSUDE, AECID, Ayuda en Acción, GOAL, CRS entre otras, que han sido aglutinadas por COPECO.

Pese a estos avances, a la fecha no se cuenta con estructuras formales o tanques de pensamiento en torno a la comprensión de la sequía. El observatorio y comités de sequía han funcionado de manera temporal, afectados por la priorización de amenazas y otros impactos tales como inundaciones, conflictos políticos-sociales, deslizamientos, etc., que llevan a las instituciones a focalizar los recursos técnicos, esfuerzos y fondos, a las emergencias, sin embargo, se tienen instituciones fortalecidas en la temática, definición de áreas y poblaciones priorizadas y recursos de emergencia localizados.

PERÚ

AUTORES

Julia Acuña[1], Waldo Lavado[1] y Oscar Felipe[1]

[1] Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), Lima, Perú.

© Pixabay/Logga Wiggler, CCo Creative Commons

Introducción

EL PERÚ ES UN PAÍS VULNERABLE A MÚLTIPLES PELIGROS DE ORIGEN NATURAL (sismos, terremotos, tsunamis, deslizamientos, huaycos, inundaciones, sequías, heladas, friajes, granizadas, lluvias intensas entre otros), debido a su ubicación en el Cinturón de Fuego del Pacífico, presencia de la cordillera de los Andes y de la corriente costera peruana, factores que determinan y modifican las condiciones ecológicas y climáticas del país, y otros eventos como El Niño Oscilación del Sur, (cuya fase calidad es denominada El Niño y la fase fría es denominada La Niña); obedecen a una variabilidad natural del clima, asi como por el cambio climático y calentamiento global; que combinados con los altos niveles de exposición al riesgo de desastre de las comunidades o asentamientos con menor índice de desarrollo humano, en los que las infraestructuras físicas son más propensas a ser dañadas por eventos adversos. Es importante resaltar también que el 60% de la población del país se ubica en territorios áridos e hiperáridos (MINAM, 2012) y la disponibilidad de agua en estos territorios es de menos del 2% de la disponibilidad total del país (INRENA, 1995).

Es así, que durante 1970- 2009, el país fue afectado por 105 desastres, 71% de éstos provocados por fenómenos hidrometeorológicos (sequías, inundaciones, deslizamientos húmedos y heladas) y 29% por eventos geofísicos (sismos, erupciones volcánicas y deslizamientos secos). Estos desastres causaron más de 74 000 muertes y afectaron a 18 millones de peruanos. Durante este período, el Perú fue el país latinoamericano con mayor número de fallecidos y el segundo en afectados, sólo detrás de Brasil, que tiene una población seis veces mayor (Tolmos, 2013). El Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI, 2016), reportó entre 2003 – 2016 61 856 emergencias que afectaron a más de 14 millones de habitantes y que ocasionaron cuantiosos daños y pérdidas en vivienda, infraestructura y agricultura.

El Fenómeno del Niño, entendido como un evento climático de alcance planetario cuyos impactos repercuten a escala global y uno de los principales moduladores de la variabilidad interanual, (Lagos y Silva, 2008) generó impactos, en los años 1982-1983 y 1997-1998, en la economía peruana equivalentes al 11.6% y 6.2% del PBI (producto bruto interno) respectivamente. Asimismo, los impactos del cambio climático constituyen una de las amenazas ambientales más importantes del siglo XXI en el ámbito mundial, al cual el Perú no es ajeno. Por ello, de acuerdo con los escenarios de cambio climático (SENAMHI, 2010; Dell, *et al.*, 2008), se estima un impacto negativo sobre la tasa de crecimiento del PBI per cápita que fluctúa entre 0.18% y 0.78% por debajo del nivel de crecimiento potencial bajo un escenario climático más extremo (un aumento de 20C y 20% en la variabilidad de las precipitaciones al 2050). Para el año 2030 el PBI alcanzaría un nivel entre 5.7% y 6.8% menor al que comúnmente se proyecta en situaciones normales, es decir sin cambio climático (PBI potencial); mientras que en el año 2050 respecto al PBI potencial esa disminución podría alcanzar el 20% (Vargas, 2009).[17]

17 Emergencia: Estado de daños sobre la vida, el patrimonio y el medio ambiente ocasionados por la ocurrencia de un fenómeno natural o inducido por el hombre que altera el normal desenvolvimiento de las actividades de la zona afectada

En este contexto, los estudios sobre la Sequía en el Perú vienen adquiriendo una gran relevancia por las pérdidas que ocasionan al desarrollo de las actividades productivas dependientes del recurso hídrico. Es así que para mejorar el conocimiento de la Sequía en el Perú, se cuenta con estudios hidroclimáticos a nivel de cuencas (Espinoza *et al*., 2011, 2012; Fernández *et al*., 2011; Silva & Trasmonte, 2012, Lavado et a.l, 2012, Monrtensen, 2017; Curi, 2017), a escala nacional (MINAGRI, 2010; Sosa, 2016) e internacional (Proyecto ENHANS-UNESCO) desarrollados a fin de disponer información base de caracterización de las Sequias actual y futura (Gálvez, 2017, Segovia, 2016), en apoyo a la implementación de un Sistema de Vigilancia y previsión hidroclimática de sequías para reducir el impacto en la población más vulnerable. Por otro lado, también se vienen desarrollado otras investigaciones que contribuyen a mostrar evidencias históricas y futura sobre la tendencia de la precipitación como principal forzante de la sequía en el Perú (IGP, 2005a; Marengo *et al*., 2011; SENAMHI, 2012a, MINAG, 2014, AMICAF-SENAMHI, 2014).

El Perú desde el 2012 cuenta con el Programa Presupuestal por Resultados PPR-068-PREVAED Reducción de la vulnerabilidad y atención de emergencias por desastres, que congrega a todos los sectores del estado peruano y provee de recursos financieros para la investigación y prevención de desastres. También cuenta con la Estrategia Nacional de Lucha contra la Desertificación y Sequías 2016-2030 (ENLCDS), donde establece los lineamientos para el desarrollo de la investigación aplicada e implementación de sistemas de monitoreo y pronósticos de sequías en el marco de las competencias de las entidades que la conforman.

El Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) en el 2014 con apoyo del Ministerio del Ambiente lanzó el Primer portal de Monitoreo Nacional de la Sequía basado en índices operacionales para realizar la evaluación cuantitativa de las condiciones de sequía en el territorio peruano desde una perspectiva espacial, soportado en la base de datos PISCO (Peruvian Interpolate data of the SENAMHI's Climatological and Hydrological Observations disponible en: ftp://ftp.senamhi.gob.pe/). Producto de ello, desde 2015 se genera el Boletín de Sequía Nacional con una frecuencia mensual (a junio 2018, total 45) que brinda información sobre la intensidad y extensión espacial de las condiciones de sequía. Asimismo, SENAMHI crea el Grupo de Trabajo de Sequía interno a fin de fortalecer la capacidad de respuesta ante la presencia de un evento de sequía desde un enfoque meteorológico, hidrológico y agronómico.

Paralelamente, la Autoridad Nacional del Agua del Perú (ANA) con el asesoramiento de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura-UNESCO y la participación de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura- FAO pone en funcionamiento el Observatorio Nacional de Sequía en Perú (http://www.climatedatalibrary.cl/Peru/maproom/Monitoring/index.html, trabaja sobre la Librería de Datos Climáticos del International Research Institute for Climate and Society – IRI de la universidad de Columbia) como una plataforma de información y visualización de indicadores que permiten conocer la situación de los eventos de sequía, sobre la base de un trabajo interinstitucional, articulado y consensuado. Esta iniciativa se encuentra alineada al Plan de Gestión de Riesgos y Adaptación al Cambio Climático en el sector agrario – Periodo 2012-2021 – PLANGRACC-A (Chiok y Lavado).

Finalmente, las recientes sequías que han afectado al Perú (2015-2016) están estimulando un diálogo en el país para mejorar la política y la gestión de la sequía de forma integral. Este dialogo exige una mayor articulación e integración interinstitucional a través de espacios o plataformas donde interactúa las entidades técnico científicas, los sectores productivos y la ciudadanía bajo un enfoque de servicio climático.

LA OCURRENCIA DE EVENTOS DE SEQUÍA EN PERÚ

A lo largo de la historia del Perú han ocurrido sequías de gran magnitud. Según Huertas2 el primer gran evento de sequía, sucedió en el siglo IX d. C. Se trató de una gran sequía que duró aproximadamente 30 años, que afectó a la cultura Mochica ocasionando su desplazamiento geopolítico hacia el valle de Chiclayo. La sequía destruyó todos sus cultivos, causando hambruna. El segundo gran evento es la Sequía Altiplánica ocurrida en el siglo X d. C., que trajo como consecuencia hambruna y la caída del imperio Tiwanaku -Wari

o Tiahuanaco- Huari; Huertas indica también que entre 1450 y 1500 d. C, en el tiempo que gobernó Pachacútec, se presentaron sequías que afectaron al Cusco por 10 años.[18]

Otras culturas prehispánicas también colapsaron por efectos de sequias y del Fenómeno el Niño. Este sería el caso de Caral, la civilización más antigua de América ubicada al norte Lima – Perú que sufrió una severa crisis por efecto de los cambios climáticos que se presentaron hace 4 000 años, que se manifestó en sequías intensas que podrían haber durado entre 60 y 130 años de acuerdo con Ruth Shady, arqueóloga peruana y directora del proyecto Caral. El imperio Moche, por su parte (se ubicó en la región de Lambayeque al norte de Perú), se vió afectado por un ciclo de sequía de tres décadas, que entre los años 563 y 594 ocasionó la reducción de manera drástica de la cantidad de manantiales de montaña cuyas aguas llegaban hasta la costa. Ello resultó catastrófico para la agricultura, con la consiguiente hambruna, y provocó una creciente desertización que causó que las dunas de arena se tragasen numerosos asentamientos. También entre 636 y 645 la sequía asoló de nuevo con fuerza la región, y la cultura Lambayeque colapsó alrededor del año 1100, a causa de un diluvio que destruyó todos los sistemas de riego, seguido luego por un período de sequía de treinta años, según lo describe el arqueólogo Walter Alva. Asimismo, en la cuenca del río Osmore Moquegua, las civilizaciones prehispánicas asentadas como Huaracane, Tiwanaku y Wari colapsaron por efectos de sequía (Barrientos, 2018).

Estos antecedentes históricos reafirman el hecho de que las sequías han generado y continúan generando importantes pérdidas económicas e impacto social en el territorio peruano, siendo la agricultura el sector más afectado, seguido del abastecimiento de agua a la población, la energía, medio ambiente y los impactos sociales (salud y seguridad pública). Tanto en la selva, como en la sierra sur, se ha presentado la mayor frecuencia de sequías moderadas y severas de modo mensual y trimestral, mientras que las sequías extremas anuales se han desplegado en la sierra norte (Piura y Tumbes) y en Arequipa (SENAMHI, 2010). Por otro lado, diversos autores indican que la mayor predominancia de sequías se observa en la zona andina sur del Perú (Puno, Cuzco, Apurímac, Arequipa, Moquegua y Tacna). En este territorio, 1 millón 300 mil personas que habitan por encima de los 3 500 msnm son las más afectadas porque derivan su sustento de la agricultura y la ganadería (Toro, 2011, PREDES, 2011). Asimismo, durante el fenómeno El Niño se tiene evidenciado un déficit hídrico agudizado al sur de Perú y norte de Bolivia (región Andina). Cabe resaltar que las sequías se suscitaron durante la fase positiva de El Fenómeno El Niño 1965-1966, 1982-1983 y 1991-1992 (SENAMHI, 2016).

En general, en las últimas seis décadas (1950-1998), se han presentado en total once fenómenos de El Niño, y seis sequías (1967-1968, 1968-1969, 1969-1970, 1977-1978, 1978-1979 y 1989-1990), ambos de diferente intensidad (Trivelli, 2005).

Gran parte del Perú está expuesto a sequías periódicas, tal es así, que la ANA reportó que entre 2000 y 2010 se presentaron 163 eventos de sequías, siendo en mayor número en la vertiente del Pacífico (127 eventos), seguidos por la vertiente del Titicaca (25 eventos) y la vertiente del Atlántico (11 eventos). Dichas sequías han ocurrido con distinta frecuencia, siendo mayor el número las de frecuencia anual y las que ocurren entre 3 y 9 años con 85 eventos y 70 eventos respectivamente. La mayor cantidad de eventos reportados corresponden a los ocurridos entre el año 2000 al 2008 con 73 y el año 2010 con 62. Asimismo, indica que el 2011, los eventos de sequía afectaron los departamentos de Arequipa, Cajamarca, Lambayeque, Piura, La Libertad, Lima, Moquegua, Tacna, Amazonas, Huánuco, San Martín, Junín y Puno.

La Región Hidrográfica del Amazonas (RHA), una de las más estudiadas desde una perspectiva científica, se ha destacado porque en los últimos años las sequías se han presentado con mayor frecuencia y han traído consigo fuertes impactos en los ecosistemas amazónicos, transporte fluvial y en la población. Dado el rol clave de la Amazonía en el balance de carbono mundial, estas sequías tienen impactos a escala planetaria. La comunidad científica habla de sequías extremas en la Amazonía durante el período 2005-2010, con pérdidas irreparables en los ecosistemas, como en 1998, 2005 y 2010 (Marengo *et al*., 2008; Espinoza *et al*., 2011). Estos eventos resultaron muy perjudiciales para los pobladores de esta región, así

18 https://larepublica.pe/archivo/598150-sequia-de-30-anos-afecto-al-valle-de-moche
Información tomada del Plan de Prevención ante la presencia de fenómenos naturales por inundaciones, deslizamientos, huaycos y sequías. Lima, Autoridad Nacional del Agua, Ministerio de Agricultura, octubre 2010, citado por Soto, 2013

como para la agricultura y los ecosistemas amazónicos (Asner y Alencar, 2010; Xu *et al*., 2011; Fernandes *et al*., 2011). También se ha documentado cómo un evento de sequía cambia hacia la condición de crecidas, producto de una brusca transición sin precedentes desde el extremo de sequía en septiembre 2010 (8300 m3/s) a una de los cuatro picos de caudales más altos en abril de 2011 (49 500 m3/s); el cual fue registrado en Tamishiyacu (río Amazonas, en zona Peruana). Esta transición inusual es también observada en los sedimentos de los ríos. En general, se evidencia la presencia recurrente de eventos de sequías fuertes en los últimos años (1995, 1998, 2005 y 2010), siendo la sequía del año 2010 una de las más severas para el oriente peruano.

Se han desarrollado, también estudios específicos en la cuenca del río Mantaro, emplazada en la RHA (zona andina central), en base al IPE (índice de precipitación estandarizado) para el periodo 1970-2004, habiéndose identificado a los años 1991 y 1992, como los años más secos. También, se ha identificado una relación inversa significativa entre las variaciones de la temperatura superficial del mar (TSM) en el Pacífico ecuatorial central (Niño 3.4 y Niño 4) y las precipitaciones en la zona central y sur de la cuenca del Mantaro (IGP, 2005b). Además, algunos estudios reportaron una disminución de la frecuencia de períodos húmedos a partir de los años noventa en la cuenca del río Mantaro, la frecuencia de periodos húmedos ha disminuido en gran parte de la cuenca, y a partir del año 2003 no se han presentado años lluviosos; y en la parte norte de la cuenca (zonas de Cerro de Pasco y Marcapomacocha), la deficiencia de lluvias es cada vez más frecuente, teniendo impactos en las reservas de agua dulce (Gálvez, 2017). Por otro lado, en la cuenca del Mantaro, la sequía intensa de 1991-92 (IGP, 2005; Silva *et al*., 2008) coincidió con un evento El Niño, pero no la siguiente en 2003-04 (Martínez, 2007; Silva *et al*., 2008).

LOS IMPACTOS DE LA SEQUÍA EN LOS DIFERENTES SECTORES DE PERÚ

En el Perú, los impactos de la sequía se han evidenciado principalmente en las actividades agropecuarias desarrolladas bajo secano, lo que compromete la seguridad alimentaria y la salud pública. La actividad agropecuaria es de gran importancia a nivel nacional, ya que 1,4 millones de personas dependen de ella en los Andes peruanos, quienes representan el 63,9 % del total de productores agrícolas en el país. Esta actividad depende mucho de la disponibilidad de agua, por lo que se ve altamente afectada por las sequías (MINAM, 2016). Es así, que durante el periodo 1995-2010 los mayores impactos de los eventos climáticos en las siembras de los principales cultivos transitorios ocurrió en los años 2006 – 2007 (Año El Niño) y 2007 - 2008 (Año La Niña) y afectó a 255 mil y 254 mil hectáreas respectivamente, siendo los cultivos de papa y maíz amiláceo los más afectados. Los siguientes eventos de mayor impacto fueron los del 2003-2004 (Neutro) con pérdidas en el orden de 216 mil hectáreas, el 2000-2001 (Año La Niña) con 207 mil hectáreas y el año 1997-1998 (El Niño) con 201 mil hectáreas afectadas (Saldaña, 2010).

En la Región Hidrográfica del Pacífico, los efectos de la sequía se manifiestan por la menor disponibilidad de agua en los reservorios de regulación ubicados en la zona costera y ante una sequía prolongada, se genera el agotamiento de sus capacidades productivas y reducción de los niveles de la napa freática, afectando el abastecimiento de agua de las poblaciones urbanas y rurales.

En el sur del Perú, las sequías afectan principalmente a los siguientes sectores: i) suministro de agua para uso poblacional y ii) suministro de agua para uso agropecuario, dado que los cultivos se encuentran supeditados al riego con agua de lluvia y los territorios de pastoreo dependen de la vegetación que producen las precipitaciones pluviales. Al respecto, se estima en 4 millones de habitantes los que resultan expuestos en esos territorios, siendo la población directamente afectada la que habita sobre los 3 500 m.s.n.m. (1,5 millones de personas, aproximadamente, según el Centro de Estudios y Prevención de Desastres - PREDES). En estas áreas, un 80% de las tierras son de pastoreo (son escasas las tierras de cultivo) y un 70% de la población económicamente activa en esos lugares se dedica a la agricultura y la ganadería.

En la RHA, particularmente en las regiones de selva y ceja de selva, la disminución del caudal de los ríos afecta a la pesca, principal fuente de proteínas de origen animal. Asimismo, genera serios problemas de transporte fluvial, pues los ríos son la principal vía de comunicación en esas regiones, tomando a las

lanchas de abastecimiento el doble de días para realizar su recorrido, lo que explica el alza de los precios de alimentos y productos de primera necesidad en Iquitos. El costo de gas puede pasar en pocos días de 37 soles (U$ 13) a 75 soles (U$ 27) y produce un incremento de la vulnerabilidad de los ecosistemas amazónicos que ponen en riesgo la capacidad del bosque amazónico para absorber CO2 (Marengo, 2015; Espinoza, 2015). La Figura 46 muestra, a modo de ejemplo, la anomalía anual de los caudales medio/mínimo/máximo en la Estación Tamishiyacu en el río Amazonas (Perú). Años con sequía se indican con líneas verticales discontinuas, 1983, 1995, 1998, 2005 y 2010.

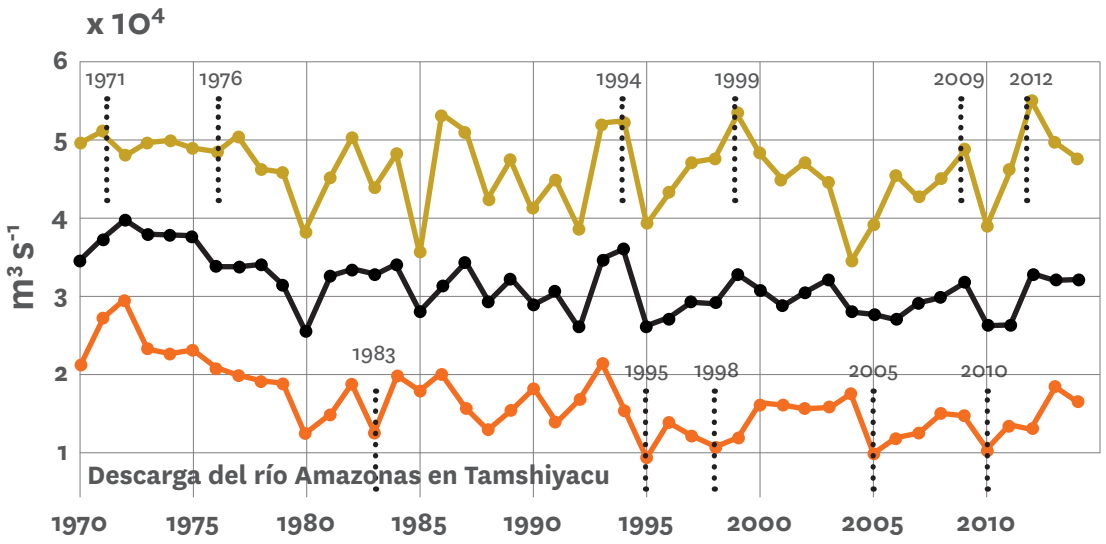


FIGURA 46.

Media Marzo-mayo (azul), setiembre-agosto (negro) y agosto-octubre (rojo) descargas del rio Amazonas en la estación Tamshiyacu en el periodo 1970-2014. Fuente: Marengo y Espinoza, 2015.

Por otro lado, también se tiene evidencias sobre la sequía durante el año 2004 en Piura y Valle del Mantaro; para el primer caso, ésta afectó a valles con infraestructura de riego bien desarrollada y trajo como consecuencia el desabastecimiento del cultivo de arroz (53% de hogares), para el segundo caso, en tanto, los productores fueron afectados en sus cultivos de maíz choclo (23% de hogares).

Se han identificado cuatro episodios de sequías de mayor impacto en el país, con extensión hacia la zona central y sur del país en los siguientes períodos: 1972 (junio-octubre), 1983 (julio a noviembre), 1992 (mayo a noviembre) y 2015 (octubre a noviembre), coincidentes con años El Niño, 1982-1983, 1991-1992 y 2015-2016 los que presentaron impactos regionales en el país (Endara S., 2018).

→ SEQUÍAS 1982-83

El Perú fue afectado por una sequía fuerte suscitada durante el fenómeno El Niño 1982-83, categorizado como Extraordinario. Este evento se expresó, de manera simultánea, en dos tipos de anomalía de gran magnitud en cuanto a la precipitación: anomalías positivas en la zona norte (exceso de agua con fuertes daños a la infraestructura y la disminución conjunta de la producción en general) y anomalías negativas en la zona sur y región del Altiplano (afectó zonas económicamente deprimidas y con capacidad de recuperación casi nula) (SENAMHI, 2009). La sequía afectó a una quinta parte del país, se estimó que 460 000 los pobladores rurales afectados, se presentaron enormes pérdidas en cosechas y bajas notables

en los rendimientos agrícolas y pecuarios (2 600 000 cabezas de ganado sacrificado) y, debido a los desequilibrios hídricos causados por la sequía, se generaron cuantiosas pérdidas en cultivos y disminución de los rendimientos agrícolas y pecuarios. La situación más crítica se dio en el altiplano, en el Departamento de Puno, entre el límite de Bolivia y el Departamento de Cuzco, aproximadamente entre las localidades de Maranganí y Sicuani y afectando también al altiplano del sur (Meseta del Collao) y a los departamentos de Moquegua, Arequipa, Cusco, Tacna y Ayacucho (CMRRD, 2004).

→ SEQUÍA 1991-92

El Niño 1991-92 duró 14 meses, fue el segundo más largo de los últimos 30 años y fue clasificado de intensidad moderada; fue crítico en casi todo el territorio nacional y derivó en una fuerte sequía. Los impactos se presentaron con disminución de la producción y productividad agropecuaria debido a la pérdida de la superficie cultivada así como por falta de semillas para la próxima campaña agrícola con pérdidas en el orden de 15 % - 58 % principalmente en la región de Puno (Moche, 2002). Igualmente, se generó restricciones en el suministro de energía eléctrica y, producto de la contracción de la demanda interna, el PBI durante 1992 decreció en 2.8% respecto de 1991 (BCRP, 1992). Este fenómeno afectó el sector agrícola a los rendimientos de los cultivos de maíz amiláceo y papa. En el primer caso, las mayores reducciones se produjeron en Ayacucho, Apurímac y Ancash. En lo referente a la papa, los departamentos que disminuyeron su producción considerablemente fueron Puno, Ancash y Junín. A su vez, la sequía en la región de la sierra no permitió el suficiente almacenamiento de agua en los reservorios para el riego adecuado de los cultivos de la costa. Por esta razón, en la campaña agrícola 1991 -1992 la superficie sembrada de algodón disminuyó en Piura e Ica 31 y 21% respectivamente, con relación a la campaña anterior, ocasionando una contracción en la producción de 47 y 45 por ciento, en dichos departamentos.

→ SEQUÍA 2015-2016

El Niño 2015-2016, se caracterizó por presentar lluvias escasas durante octubre a noviembre del 2015 principalmente en zonas altas del Cusco ocasionando pérdidas en aproximadamente el 60% de los cultivos de productos de primera necesidad. Luego se evidenciaron precipitaciones fuertes durante el mes de marzo de 2016 en los departamentos de Tumbes y Piura. En la región sur se evidenciaron precipitaciones por debajo de lo normal sobre todo en enero y marzo 2016, pero con registros de precipitaciones por encima de lo normal en el mes de febrero. El sector agrícola tuvo una afectación menor a la esperada, el mayor número de hectáreas afectadas se registró en Puno con cerca de 1853.5 ha afectadas y cerca de 300 ha de cultivo perdidas, seguido de Piura con un área afectada de 915 ha y cultivos perdidos en 152 ha. En un tercer grado de impacto están las regiones de Loreto, Madre de Dios, Junín, San Martin y Tumbes con 862, 728, 545 ,580 y 470 ha perdidas, respectivamente. Los cultivos más afectados fueron la papa y la quinua. Por otro lado, la Amazonia presentó precipitación anuales muy bajas e incremento del número de días secos (24 horas sin precipitación). La extensión de este último produjo la mortandad de especies forestales y experimentó una temporada intensa de incendios forestales producto de una fuerte sequía que permitió el escape de fuegos asociados con prácticas agrarias, evidenciado por una correlación inversa entre los montos de precipitación y los focos de calor en el período 2001 – 2016 como se aprecia en la Figura 47 (MAAP, 2017).

© Pixabay/Lenka, CCo Creative Commons

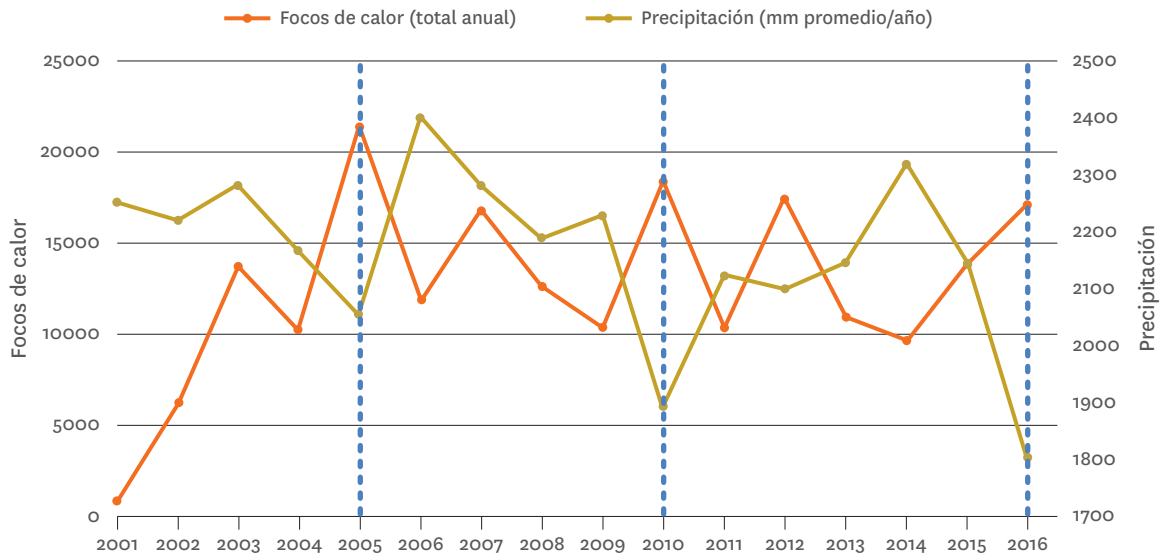


FIGURA 47.

Correlación entre la precipitación y focos de calor durante 2001-2016. Datos: TRMM, FIRMS/NASA, PNCB/MINAM, GLAD/UMD. Fuente: MAAP, 2017 (http://maaproject.org/2017/fuego-lluvia/)

Al respecto, el Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres CENEPRED elaboró la evaluación de escenario de riesgo ante la posible ocurrencia de sequía, identificando los niveles de riesgo en el país donde identificó 187 distritos con nivel de muy alto riesgo correspondiente a 11 departamentos del país: Apurímac, Arequipa, Ayacucho, Cusco, Huancavelica, Junín, Lima, Moquegua, Pasco, Puno y Tacna; información de soporte que le permitió al Estado Peruano declarar en condición de emergencia por déficit hídrico a la región de Lima y toda la costa y sierra del Perú.

LA FRECUENCIA DE SEQUÍAS EXTREMAS EN PERÚ

Los estudios de frecuencia de sequías en el Perú se han ido desarrollando sistemáticamente en los últimos años gracias a una serie de iniciativas. Entre ellas, se puede mencionar talleres especializados realizados por SENAMHI en 2009 con el apoyo del PHI-UNESCO para la aplicación de la metodología de análisis regional de frecuencias de la precipitación al territorio peruano. Estos estudios fueron ampliados durante 2011 (SENAMHI, 2011) a través de la participación de especialistas peruanos en el Taller Internacional de Análisis de Frecuencia de Sequías realizado en Ecuador y posterior Taller Internacional realizados por la Agencia Nacional del Agua en 2015.

Gracias a estas iniciativas para la RHP Acuña *et al.*, (2011 y 2015) ha estimado el período de retorno de una sequía hipotética equivalente al 40% de la precipitación normal,, concluyendo que los episodios de sequías de esta magnitud se presentan: en la zona baja con períodos de retorno en el orden de 2 a 10 años; en la zona media con períodos de retorno de 15 a 25 años y en la zona alta con períodos de retorno de 25 a 30 años, para cuencas Olmos, Motupe, La Leche, Chancay Lambayeque, Zaña, Chaman, Jequetepeque, Chicama, Moche, Viru y Huamansaña (Zona Norte del Perú); así también con períodos de retorno de 7 a 50 años se presentaría en la zona baja y media de las cuencas Chillón, Rímac y Alto Mantaro y la cuenca total

del río Lurín; y con período de retorno de 50 a 393 años, en la zona alta de las cuencas Chillón, Rímac y Alto Mantaro (Zona Centro del Perú).

A escala nacional, la Figura 48 presenta los mapas de cantidad de lluvia esperada para una sequía que ocurre una vez cada 2 (Figura 48a) y cada 100 (Figura 48b) años así como los mapas de período de retorno para sequías equivalentes a un 10% (Figura 48c) y 40% (Figura 48d) de déficit respecto de su normal climatológica, respectivamente.

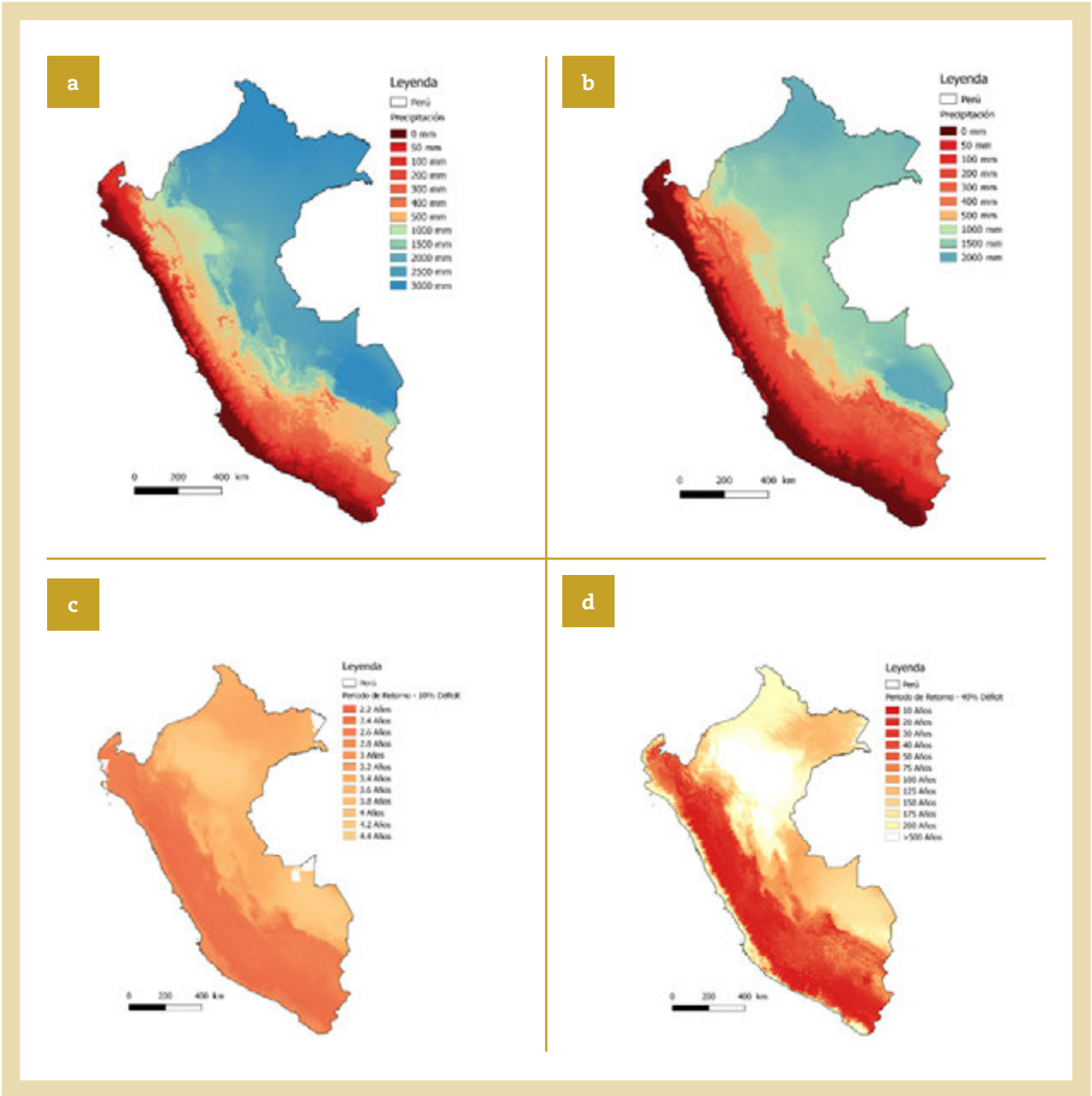


FIGURA 48.

Mapas de precipitación anual esperada para una sequía esperada en a) 1 en 2 años y b) 1 en 100 años. Mapas de periodo de retorno para una sequía equivalente a un c) 10% de déficit y d) 40% de déficit.

LA GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES POR SEQUÍA EN PERÚ

Antes del año 2011 el Perú no había desarrollado un enfoque moderno de gestión de riesgos dentro de la institucionalidad del país. El Estado peruano estaba orientado a la defensa civil, cuyo giro se centraba más en la respuesta humanitaria, lo que dejaba de lado temas vinculados a la prevención y/o la mitigación de desastres. Bajo esta figura el ente rector era el Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI). Después del 2011 se aprueba la Ley que crea el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SINAGERD) como sistema interinstitucional, sinérgico, descentralizado, transversal y participativo. La Ley define 6 lineamientos concentrados en la definición de: (i) el Plan Nacional de Gestión de Riesgos de Desastres (GRD); (ii) la Estrategia de Gestión Financiera del Riesgo de Desastres; (iii) los Mecanismos de Coordinación, Decisión, Comunicación y Gestión de la Información en situaciones de desastre; (iv) el Sistema Nacional de Información para la GRD; y (vi) la Radio Nacional de Defensa Civil. Esto permite al Estado trabajar transversalmente con los entes de gobierno pudiendo incorporar al mismo tiempo a los entes locales. Dada este línea base se elaboró el Plan Nacional de Gestión de Riesgo de Desastres – PLANGERG 2014-2021, donde la sequía es considerada como uno de los principales peligros que genera desastres en el Perú.

El SINAGERD está compuesto por los siguientes actores: (i) Presidencia del Consejo de Ministros (PCM), quien asume la función de ente rector; (ii) Consejo Nacional de GRD, presidido por el Presidente de la Republica; (iii) CENEPRED; (iv) el INDECI; (v) Gobiernos Regionales y Locales (vi) Centro Nacional de Planeamiento Estratégico (CEPLAN); y (vii) entidades públicas, Fuerzas Armadas, Policía Nacional del Perú, entidades privadas y sociedad civil. La creación del CENEPRED, supone una mejora substancial con relación al anterior marco legal del país en gestión de riesgos que, por falta de claridad, posibilitaba la interpretación de que la Defensa Civil debía encargarse de funciones y responsabilidades que en realidad correspondían a actores del desarrollo y no a entidades especializadas en la respuesta de emergencias. Uno de los grandes avances de la nueva ley es que acota las responsabilidades de la Defensa Civil a los procesos de preparación, respuesta y rehabilitación, en conformidad con el propósito original para el que fueron creadas y diseñadas estas entidades. Por otra parte la incorporación de este instrumento legal permite que las entidades públicas (ministerios, etc.) sean responsables de incorporar en sus procesos de desarrollo la gestión de riesgos. De igual forma estas instituciones son las encargadas de generar las normas, instrumentos y mecanismos específicos necesarios para apoyar la incorporación de la gestión de riesgos en los procesos institucionales de los gobiernos regionales y locales en los ámbitos de su respectiva competencia. En términos operativos esta nueva institucionalidad ha permitido actores involucrados en las acciones de respuesta y emergencia, INDECI en este caso, actúa de forma coordinada con actores locales y descentralizados en las acciones de atención, mientras que los organismos de carácter preventivo y de apoyo técnico queden en control del análisis, prevención y modelización de escenarios (CENEPRED).

© Pixabay/Jerzy Andrzej Kucia, CCo Creative Commons

La incorporación del SINAGERD como un ente que incorpora el principio de transversalidad ha permitido también que la ayuda financiera se incorpore como un gasto permanente, lo que ha incidido en que esta ayuda sea distribuida de mejor forma entre los entes locales de prevención y reacción frente a los desastres. Los grupos adicionales incorporados en SINAGERD por ley incluyen a las Fuerzas Armadas y la Policía Nacional, que desempeñan papeles clave en actividades de preparación y respuesta frente a los desastres. La ley también incluye explícitamente la participación de entidades privadas y sociedad civil, como universidades, diversos sectores corporativos, ONGs y voluntarios, así como organizaciones como la Cruz Roja, entre otros (Figura 49).

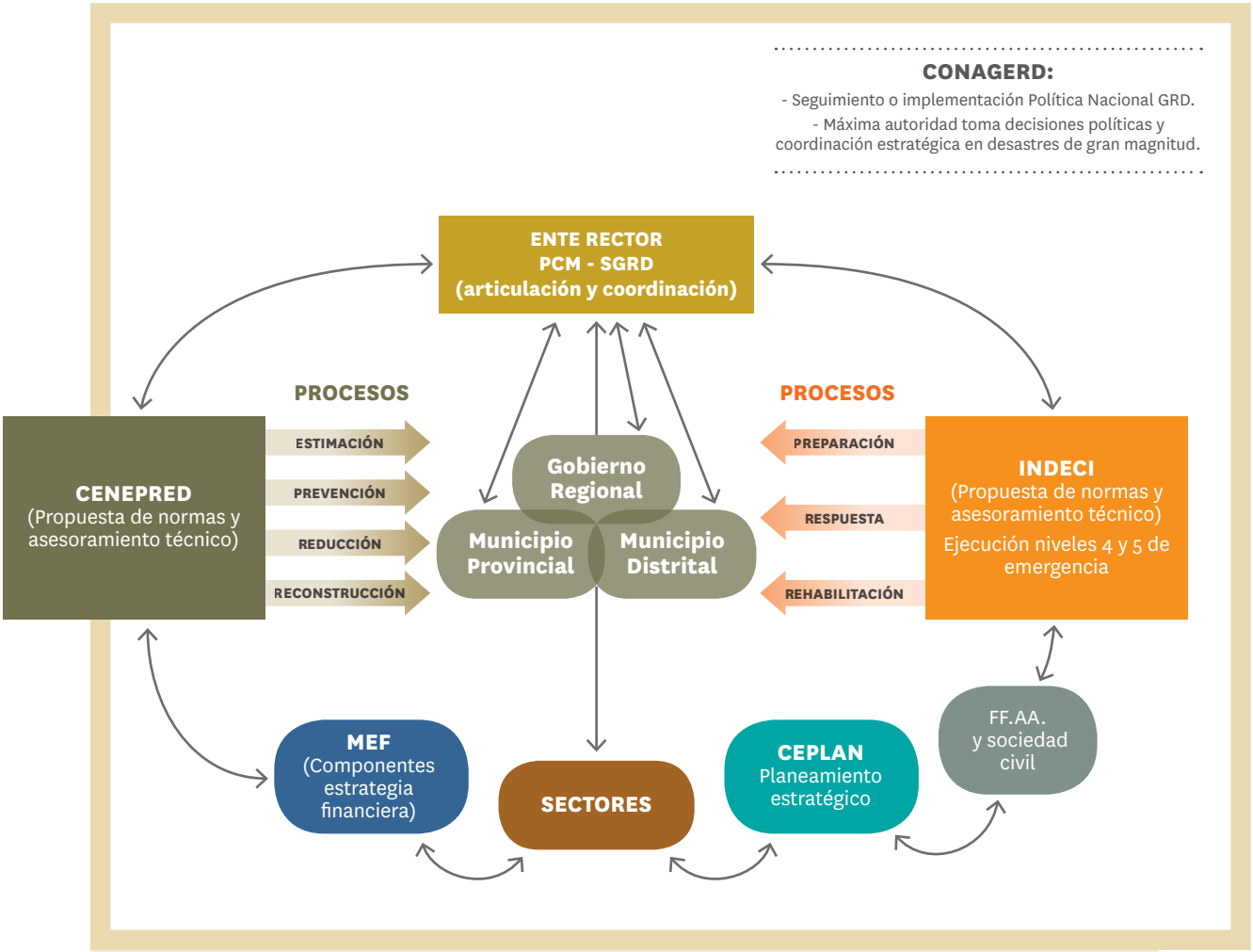


FIGURA 49.

Paisaje institucional del sistema nacional de gestión del riesgo de desastres SINAGERD. Fuente: https://www.mef.gob.pe/contenidos/inv_publica/docs/eventos-taller/taller-internacional-03y04-julio-2014/files/segundo-dia/04-Ley-Sinagerd-y-el-Planagerd.pdf

Durante el Fenómeno El Niño 2015-2016, el Perú realizó acciones integrales con los distintos niveles encargados de la gestión del riesgo catalogado como positivas en términos generales. Se elaboró el Plan Multisectorial de Prevención y Reducción de Riesgos ante Sequías 2016 por encargo del Consejo Nacional de Gestión del Riesgo del Fenómeno El Niño (CONAGERFEN), creado mediante Decreto de Urgencia Nº 004-2015, como órgano de decisión política y de coordinación estratégica para las intervenciones multisectoriales que se desarrollen en las zonas de ocurrencia de riesgos asociados al Fenómeno El Niño, teniendo en consideración el pronóstico de escenario de sequía o de menores precipitaciones en el país.

La coordinación intersectorial y transversal hacia los gobiernos locales funcionó con una dinámica adecuada que permitió la transferencia de recursos económicos y de ayuda humanitaria desde el gobierno central hacia gobiernos locales. Por otra parte la coordinación entre los entes proveedores de información y los encargados de realizar los escenarios de impacto se realizó de forma oportuna, permitiendo generar información de posibles áreas afectadas y hacer estimaciones de acuerdo a distintos niveles probables de impacto del fenómeno El Niño. De igual forma las plataformas de información geoespacial como el Sistema de Información para la Gestión del Riesgo de Desastres- SIGRID – Sistema de Información Nacional para la Respuesta y Rehabilitación - SINPAD permitió que la información tanto de los impactos así como de los eventos que se registraban, apoyaran adecuadamente a los tomadores de decisión en las actividades de planificación, prevención y respuesta.

Otro punto importante ha sido el fortalecimiento de capacidades en organismos de prevención y planificación, como el caso del Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres - CENEPRED que ha desarrollado los escenarios de probable afectación. El INDECI, por su parte, destaca que las acciones de rápida respuesta, las tareas de abastecimiento en los distintos niveles regionales y locales han estado preparadas para atender los impactos del Niño 2015-2016. De igual forma el SENAMHI ha desarrollado un esfuerzo multidisciplinario para la comprensión del Niño y su relación con las sequías en el Perú.

Sin lugar a dudas, los instrumentos legales, la normativa y reglamentación implementada y los nuevos enfoques de gestión del riesgo han supuesto una mejora en el manejo y desarrollo de actividades en temas vinculados a la prevención, preparación, mitigación y respuesta ante eventos adversos. Sin embargo, a pesar de los ejes de transversalidad e integralidad en la ejecución de estos procesos, que permita a los entes locales incorporar esta temática, en la parte práctica han conllevado nuevos retos. Es así que, ante la necesidad inminente de afrontar la gestión de riesgos asociados al agua con el enfoque técnico más actualizado posible, la Autoridad Nacional del Agua (ANA) y la organización gubernamental CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation) vienen desarrollando una de las primeras experiencias en este marco denominada Plan de Gestión de Sequías en la Región Tacna (Zona sur del Perú): cuencas Caplina-Locumba, a efecto de tomar las medidas necesarias y oportunas ante la eventualidad de la presencia de un evento de sequía, a fin de contrarrestar el estrés hídrico en dicha zona.

En este mismo contexto, el Observatorio Nacional de Sequías ha sido creado recientemente para monitorear desde un enfoque multinstitucional; y cuenta con entidades socias como el Ministerio de Agricultura y Riego, el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), Instituto Geofísico del Perú (IGP), Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI), el Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED), Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM), entre otros.

Finalmente, el Perú tiene como uno de los desafíos implementar un mecanismo adecuado para compartir información y conocimiento sobre sequías en cuencas trasfronterizas (por ejemplo: Zarumilla, Puyango Tumbes, Chira Piura). Por tanto, hace falta un enfoque transnacional integrado para poder llevar un seguimiento adecuado de sus impactos mediante una metodología común y evaluando la vulnerabilidad de los distintos sectores.

URUGUAY

AUTORES

Guadalupe Tiscornia[1], Agustín Gimenez[1], Mario Bidegain[2], María Methol[3]

[1] Unidad de Agroclima y Sistemas de Información (GRAS) del Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA), Uruguay.

[2] Consultor en Meteorología y Clima.

[3] Asesora técnica del área de gestión de riesgos y seguros agropecuarios de la Oficina de Programación y Políticas Agropecuarias (OPYPA) del Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca (MGAP).

© Pixabay/Sven Lachmann, CCo Creative Commons

Introducción

EN URUGUAY, APROXIMADAMENTE EL 93% DE SU TERRITORIO ESTÁ DEDICADO a actividades agropecuarias (MGAP-DIEA, 2011) lo que lo vuelve un país altamente dependiente de este sector, siendo la producción agrícola y ganadera y la agroindustria, responsables de entre el 70% a 80% del valor total de sus exportaciones (Bidegain *et al*., 2014, Cortelezzi, 2017; FAO-IICA, 2017). A su vez, la agricultura es un sector clima dependiente, potencialmente afectado por las consecuencias del clima.

La variabilidad climática interanual es la que presenta la principal incidencia relativa comparada con la variabilidad decadal y la de largo plazo (Tiscornia *et al*., 2016). Asociado a esto, la ocurrencia de eventos extremos (heladas, granizos, sequías) resultan en perjuicios muy importantes para el sector agropecuario y frecuentemente el sector requiere de varios años para recuperarse económica y financieramente de los daños ocasionados (Gimenez *et al*., 2009).

Como ya se ha mencionado, la variabilidad y los eventos climáticos adversos en Uruguay son un factor muy relevante y toda actividad y acción dirigida a la caracterización de eventos extremos en cuanto a la frecuencia de ocurrencia e impactos que generan, así como a la identificación, desarrollo e implementación de opciones de respuesta que contribuyan a gestionar los riesgos que ocasionan y aumentar la resiliencia, resulta de fundamental importancia para mejorar los resultados en las actividades agrícolas. Un ejemplo de esto son las estrategias y acciones de política descritas por Buxedas (2009), Methol y Quintans (2009) y Gimenez y Lanfranco (2012) tales como la gestión del agua; la implementación de seguros agropecuarios; el apoyo a la transferencia de información y tecnología; y los sistemas de información para la toma de decisión entre otros. En este contexto, es que el Atlas de Sequías para América Latina y el Caribe resulta de crucial importancia.

LA OCURRENCIA DE EVENTOS DE SEQUÍA EN URUGUAY

En los sistemas agro-pastoriles, la sequía se evidencia como el evento climático que afecta más severamente a la producción (Paolino *et al*. 2010; Bidegain *et al*., 2014). Ejemplos recientes en Uruguay de eventos climáticos extremos son las sequías de verano 1988 - 1989, 1999 - 2000, la de 2008 – 2009, o la más reciente ocurrida en 2017 – 2018. (Figura 50).

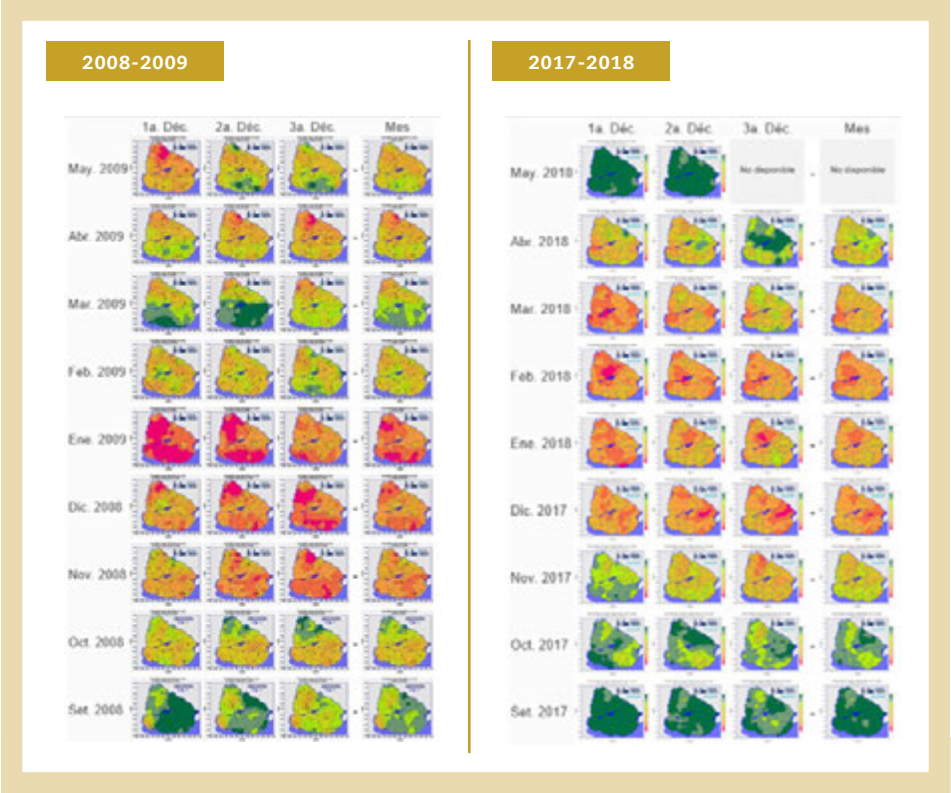


FIGURA 50.

Mapas mostrando la estimación de porcentaje de agua disponible en el suelo a nivel nacional para los eventos de sequías 2008 – 2009 y 2017 – 2018 (web INIA-GRAS, Balance hídrico). Los colores rojos indican valores de PAD menores a 20% lo que indica condiciones muy bajas de agua en el suelo.

Es de destacar que los eventos de sequía que ocurren en el país, generalmente están asociados a eventos La Niña (Giménez *et al*., 2009). Si bien, no se ha registrado un aumento en la frecuencia de las sequías ni en su intensidad en los últimos 60 años (Cruz *et al*., 2014), los impactos en términos de daños y pérdidas económicas vienen incrementándose como consecuencia del aumento de la exposición de bienes económicos por la mayor intensidad de capital, inversiones e infraestructura productiva expuesta (Methol y Cortelezzi, 2017);

LOS IMPACTOS DE LA SEQUÍA EN LOS DIFERENTES SECTORES DE URUGUAY

En el sector agropecuario, como consecuencia de las sequías de 1999 – 2000 y la de 2008 – 2009 se estimaron pérdidas de entre 200 y 250 millones de dólares (alrededor del 1% del PBI promedio de los últimos años) y de entre 400 y 800 millones de dólares (alrededor del 2% al 3% del PBI promedio de los últimos años) respectivamente (Barrenechea, 2009).

En el caso de esta última sequía 2017-2018, tuvo un impacto importante en los rendimientos de cultivos, particularmente soja, y en la producción ganadera actual y futura. Algunas evaluaciones preliminares realizadas por asociaciones de productores, estiman pérdidas directas de 1000 millones de dólares, lo que representa un 1,8 % del Producto Bruto Interno del país, (Diario El Observador, 2018).

En un reciente trabajo (Soares *et al*., 2018) basado en una encuesta realizada por el Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA), el Instituto Plan Agropecuario (IPA) y el secretariado Uruguayo de la

Lana (SUL), se estimaron que las pérdidas en el sector ganadero se darían tanto por divisas que se dejan de generar por exportaciones en pie (125 a 200 millones dólares) más las pérdidas de las divisas por la no faena (200-300 millones de dólares).

En este contexto, el Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca (MGAP), viene trabajando en el diseño de un registro de pérdidas y daños por eventos climáticos en el sector agropecuario con una metodología protocolizada a los efectos de generar una serie histórica de datos para el monitoreo de las pérdidas sectoriales y la mejora del conocimiento de los principales riesgos climáticos en las distintas actividades agropecuarias. Esto pretende contribuir al diseño de políticas públicas de gestión integral de riesgos y de adaptación al cambio climático, así como para aportar información para la construcción de indicadores de monitoreo de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y del Marco de Sendai (Methol y Cortelezzi, 2017).

© Freeimages/linnn1234

LA FRECUENCIA DE SEQUÍAS EXTREMAS EN URUGUAY

Uruguay es un país de 176.000 Km2 de superficie, situado entre los 30 y 35 grados de latitud sur, ubicado en una zona de clima templado, considerado húmedo en cuanto a su precipitación y con veranos de altas temperaturas (Kottek, 2006).

Para el caso de las sequías, los mapas específicos generados por el Atlas de Frecuencia de Sequías de América Latina y el Caribe, para el caso de Uruguay, se muestran en la Figura 51. La Figura 51a, por ejemplo, muestra los valores anuales de precipitación esperada para una sequía considerada leve como aquella que ocurre una vez cada dos años. Los montos de precipitación asociados varían entre 1.000 y 1.400 mm, siendo los valores medios de precipitación acumulada anual de entre 1.200 a 1.600 mm con los menores valores ubicados en la región suroeste y los mayores al noreste (Castaño *et al*., 2011). Para una sequía

considerada extrema, como se muestra en la Figura 51b, aquella que ocurre en promedio una vez en 100 años, la precipitación anual asociada varía entre los 600 y 800 mm. Esto es, reducciones en la precipitación anual de aproximadamente 40%. Haciendo referencia al caso de la sequía 2008-2009, el año 2008 cerró con un déficit de precipitación acumulada anual de entre 300 y 600 mm aproximadamente (Figura 52), valores cercanos a los de una sequía considerada extrema de acuerdo con la definición manejada en este análisis. Este déficit anual, agravó aún más la situación durante los meses siguientes (web INIA-GRAS, Precipitación acumulada) lo que provocó las pérdidas mencionadas anteriormente. Cabe destacar que varias de las sequías registradas en Uruguay se dan durante primavera – verano lo que no se estaría reflejando en el acumulado de precipitación anual por corresponder parte a un año y parte al siguiente.

Analizando el Periodo de Retorno, el Atlas muestra que un 10% de déficit respecto de la precipitación media anual tienen periodos de retorno de alrededor de 3 años mientras que un 40% de déficit presentan periodos de retorno de entre 60 y 75 años.

FIGURA 51.

Mapas de precipitación anual esperada para una sequía esperada en a) 1 en 2 años y b) 1 en 100 años. Mapas de periodo de retorno para una sequía equivalente a un c) 10% de déficit y d) 40% de déficit.

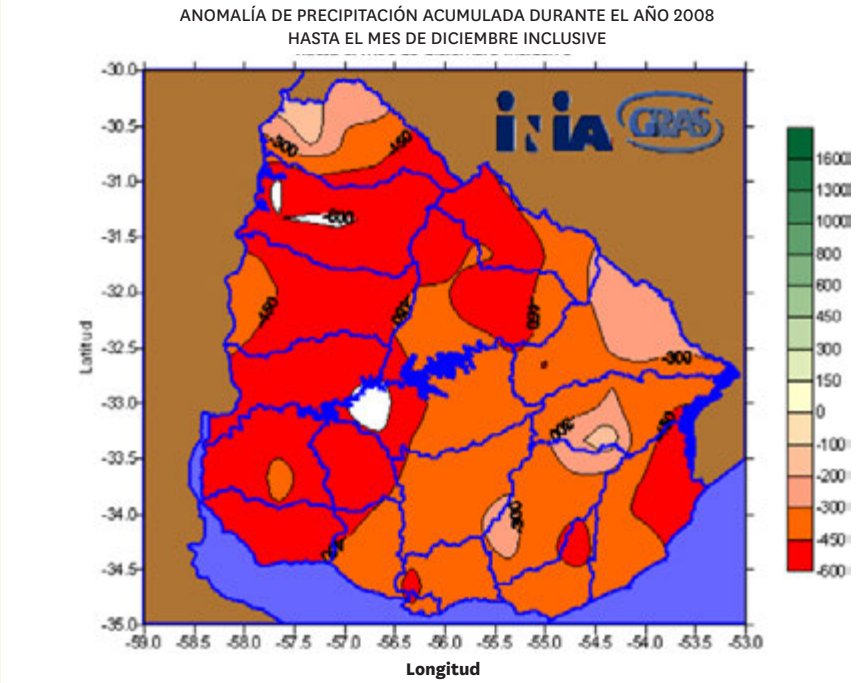


FIGURA 52.

Mapas de anomalía anual de precipitación registrada en el año 2008. 40% de déficit.

LA GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES POR SEQUÍA EN URUGUAY

En los últimos años se ha enfatizado la importancia del enfoque de gestión integral de riesgos para reducir el impacto de los eventos extremos o desastres y aumentar la resiliencia de los países y del sector agropecuario en particular. El Marco de Sendai para la Reducción de Riesgos de Desastres, adoptado por los países signatarios para el período 2015-2030, promueve claramente este enfoque. La gestión integral del riesgo incluye la evaluación de los riesgos y la implementación de estrategias de prevención, reducción o transferencia del riesgo, de modo que cuando ocurra un desastre o emergencia agropecuaria, tanto los productores como los gobiernos estén mejor preparados para enfrentar el impacto, las pérdidas sean menores y se requieran, menos recursos y tiempo para la recuperación y rehabilitación de los sistemas productivos (Methol y Sarquis, 2017).

No obstante, aún muchos gobiernos y productores agropecuarios enfrentan los eventos climáticos adversos implementando medidas de "manejo de la crisis" una vez ocurridos dichos eventos. En muchos casos la implementación de este tipo de medidas post desastres implica un costo muy elevado para el Estado y la sociedad en su conjunto. El enfoque de gestión de riesgos, por el contrario, consiste en la formulación e implementación de un conjunto de medidas anticipatorias (Baethgen *et al.*, 2004, Cruz *et al.*, 2018) que contribuyan a disminuir la vulnerabilidad de la producción agropecuaria frente a eventos climáticos adversos, permitiendo una mayor previsión y planificación tanto del sector privado como público.

Cabe destacar que en el caso de Uruguay y analizando las acciones tomadas ante eventos de sequía en el sector agropecuario, se ha evidenciado una evolución desde acciones reactivas en el pasado a una aproximación basada en el manejo integral del riesgo (Cruz *et al.*, 2018). Algunas de las políticas públicas desarrolladas han sido la promoción del riego, buenas prácticas agrícolas para la prevención de riesgos y el desarrollo de seguros agropecuarios liderados por el MGAP (Methol y Quintans, 2009), y la implementación de sistemas de información para la gestión de riesgos asociados al clima en la producción agropecuaria, liderada desde hace 20 años por la Unidad de Agroclima y Sistemas de información (GRAS, www.inia.uy/gras), del INIA. La reciente creación del Sistema Nacional de Información Agropecuaria (SNIA, http://www.

snia.gub.uy/) como bien público, se espera contribuya a mejorar la evaluación y gestión de los riesgos a través de la integración de la información agropecuaria y agroclimática dispersa en diferentes unidades del MGAP así como la generada en instituciones de carácter público-privado como el INIA y la información climática del Instituto Uruguayo de Meteorología (INUMET) (FAO-IICA, 2017).

A nivel nacional, la instancia específica y permanente de coordinación de las instituciones públicas para la gestión y atención de emergencias es el Sistema Nacional de Emergencias (SINAE, http://sinae.gub.uy/). El objetivo de dicha institución es "*proteger a las personas, los bienes de significación y el medio ambiente de fenómenos adversos que deriven, o puedan derivar, en situaciones de emergencia o desastre, generando las condiciones para un desarrollo sostenible*". Como describe en su página web, el SINAE resulta de la concreción de las acciones que realiza el Estado uruguayo para la gestión del riesgo de emergencias y desastres en sus diferentes fases: prevención, mitigación, preparación, respuesta, rehabilitación y recuperación. Es un espacio de articulación interinstitucional que depende del Poder Ejecutivo, a través del Prosecretario de la Presidencia.

Como se detalla en la publicación FAO-IICA (2017), en relación con la evaluación del impacto de eventos climáticos adversos en los sistemas de producción agropecuaria, Uruguay posee avances en trabajos interinstitucionales, entre el MGAP, INIA y la Universidad de la República.

La política de gestión de riesgos del MGAP incluye dos instrumentos para la atención de emergencias agropecuarias como las sequías severas que no tienen coberturas a través de los seguros agropecuarios. Estos son el Fondo de Agropecuario de Emergencias y el Fondo de Emergencias Granjeras, este último orientado exclusivamente al sector frutícola y hortícola. Estos fondos se activan ante la declaración de emergencia agropecuaria por parte del ministro del MGAP, quien se basa en la información agroclimática generada por INUMET (http://www.inumet.gub.uy/) en relación a precipitaciones y por la Unidad GRAS del INIA (http://www.inia.uy/gras) sobre agua disponible en el suelo e índices de vegetación.

Es de destacar el rol que cumplen tanto el desarrollo como la adopción de herramientas de monitoreo y predicción climática, particularmente aquellas vinculadas al monitoreo de sequías, en los sistemas de gestión y manejo del riesgo en el sector agropecuario. Un ejemplo de esto es la utilización de la información generada para la toma de decisión en las políticas públicas. Alguno de los testimonios registrados por parte de la Unidad GRAS son:

- "La aplicación del trabajo con imágenes satelitales (INIA-GRAS) nos sirvió en distintas formas para tomar decisiones operativas y políticas durante el período de sequía..... Lo más importante fue la celeridad y la precisión de la información, que nos permitió ser realmente efectivos en la toma de decisiones y al mismo tiempo defender estas decisiones públicamente con solvencia técnica.". Ministro de Ganadería, Agricultura y Pesca, Ing. Agr. Juan Notaro, 2000.

- "En base a la información que proporciona la Unidad GRAS se han realizado informes a la Prosecretaría de la Presidencia de la República y al Consejo de Ministros, para apoyar la decisión de compra de tanques de agua por Presidencia para el almacenaje de agua potable, así como su distribución a escuelas rurales y pequeños productores". Coronel Carlos Lorente, Director de la Dirección Técnica Operativa Permanente, Sistema Nacional de Emergencias, Presidencia de la República, 2009.

- MGAP; COMUNICADO DE DECLARACIÓN DE EMERGENCIA AGROPECUARIA, 6 de mayo de 2015: "...el Ministro presentó mapas de la evolución de precipitaciones y porcentaje de agua disponible en el suelo, de diciembre 2014 hasta abril 2015. Este monitoreo es realizado cada 10 días por el INIA GRAS...."

Todo esto ejemplos, refuerzan la necesidad de seguir trabajando en esta línea, desarrollando y perfeccionando productos y herramientas, en las que Atlas de Sequías así como el monitoreo de variables agroclimáticas en tiempo casi real, tienen una participación muy importante.

VENEZUELA

AUTORES

Franklin Paredes-Trejo[1] y Barlin Orlando Olivares[2]

[1] Departamento de Ingeniería Civil. Universidad Nacional de Los Llanos Occidentales 'Ezequiel Zamora'. San Carlos, Cojedes, Venezuela. franklinparedes75@gmail.com.

[2] Programa de Doctorado en Ingeniería Agraria, Alimentaria, Forestal y del Desarrollo Rural Sostenible. Universidad de Córdoba, España. barlinolivares@gmail.com

© Pixabay/Sven Lachmann, CCo Creative Commons

Introducción

DURANTE EL SIGLO XX, LAS SEQUÍAS FUERON NOTORIAMENTE RELEVANTES PARA el sector agrícola y forrajero en el territorio venezolano, debido a las cuantiosas pérdidas económicas inducidas por la falta prolongada de lluvias en aquellas regiones del país con vocación agrícola (Paredes *et al*., 2014; Olivares *et al*., 2016a, 2016b; Olivares *et al*., 2017; Olivares y Zingaretti, 2018). Este escenario ha venido cambiando en la medida que se adentra el siglo XXI, pues la sequía como amenaza climática ha adquirido notoriedad mediática debido a los severos impactos económicos y sociales que causaron los episodios 2002/03, 2009/10 y 2013/16. En efecto, el último evento provocó una crisis sin precedentes sobre los sectores hidroeléctrico y agrícola del país (Paredes-Trejo *et al*., 2018).

Dado que en Venezuela las sequías suelen ser moduladas por una compleja interacción entre el fenómeno oceánico-atmosférico denominado El Niño – Oscilación del Sur (ENOS) y la condición térmica prevaleciente en las aguas superficiales del Atlántico Norte Tropical (Tim y De Guenni, 2016; Trejo *et al*, 2016), se espera que el cambio climático incremente su frecuencia, severidad y extensión espacial en el mediano y largo plazo, como lo advirtió Guenni *et al*. (2008) en base a registros observacionales, y lo sugieren también las salidas de diferentes simulaciones derivadas de modelos de circulación general atmósfera-océano (MCGAO) acoplados (O'Neill *et al*., 2017; Wartenburger *et al*., 2017).

En este contexto, conviene destacar que el Gobierno venezolano presentó, en el año 2004, el Programa de Acción Nacional de Lucha Contra la Desertificación y Mitigación de la Sequía, donde diferentes líneas estratégicas fueron propuestas para mitigar los efectos de la sequía (MARN, 2004). Asimismo, esta amenaza es referida en varios informes técnicos elaborados para agencias nacionales e internacionales, tales como la Segunda Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (MINEA, 2017) y el Primer Reporte Académico de Cambio Climático de Venezuela (ACFIMAN-SACC, 2018). En dichos documentos, se enfatiza la apremiante necesidad de aumentar la capacidad de adaptación, fortalecer la resiliencia y reducir la vulnerabilidad a las sequías en el corto plazo.

LA OCURRENCIA DE EVENTOS DE SEQUÍA EN VENEZUELA

A pesar de que los medios de comunicación venezolanos han popularizado las sequías en años recientes, estos eventos han sido relativamente frecuentes a lo largo de la historia del país. Por ejemplo, Röhl (1948) refiere la ocurrencia de sequías que impactaron la ciudad de Caracas en los años 1618, 1661, 1728, 1760, 1772, 1776, 1777, 1778 y 1779. Sobre la Península de Paraguaná (noreste del país), Foghin-Pillin (2015) cita una devastadora sequía en 1776. Este autor también describe las severas sequías que impactaron Caracas en 1812 y 1869.

Para tener una primera aproximación de la incidencia de las sequías a lo largo del siglo XX e inicios del XXI, la precipitación mensual reticulada sobre el territorio venezolano durante el periodo 1901-2013 fue extraída del re-análisis global provisto por el *Global Precipitation Climatology Centre* bajo la forma del producto

de lluvia GPCC v.7 (disponible en ftp://ftp.dwd.de/pub/data/gpcc/full_data/; detalles en Schneider *et al.*, 2015). A partir de la precipitación mensual en cada celda (297 celdas cubren Venezuela), se calculó el Índice de Precipitación Estandarizada (SPI por sus siglas en inglés; detalles en McKee *et al.*, 1993) con una agregación semestral (en lo sucesivo, SPI6). Seguidamente, se determinó el porcentaje mensual de celdas que mostraron una condición severamente seca o extremadamente seca (es decir, SPI6 ≤ -1.50), obteniéndose la Figura 53. Nótese que 14 eventos secos relevantes (E1 hasta E14), evolucionaron tanto dentro como fuera de la temporada de lluvias (en gran parte de Venezuela ocurre desde junio hasta agosto), sugiriendo que las sequías no siguen un patrón estacional. Es decir, las sequías pueden originarse durante la temporada seca, prolongarse a lo largo de la temporada de lluvias e inclusive persistir de un año a otro (por ejemplo, evento E11).

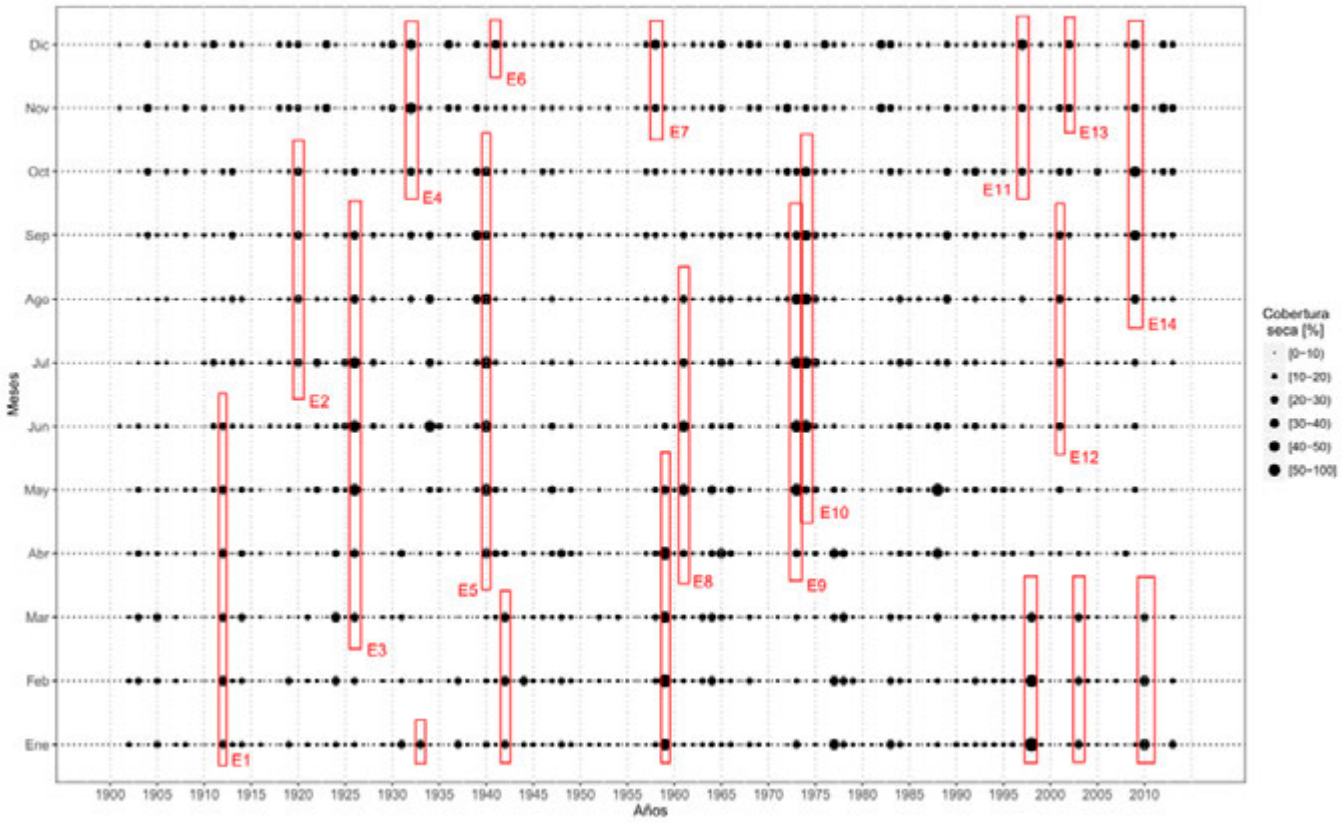


FIGURA 53.

Porcentaje del territorio venezolano afectado por sequías severamente seca o extremadamente seca durante el periodo 01/1901-12/2013. Basado en el SPI agregado semestralmente y derivado del producto de lluvia GPCC v.7. Los rectángulos de color rojo muestran aquellos eventos donde más del 20% del territorio continental venezolano está expuesto a condiciones severamente seca o extremadamente seca (SPI6 ≤ -1.50), durante al menos cuatro meses consecutivos. E1 hasta E14 señalan el inicio de cada evento.

Una inspección más detallada de la Figura 53 revela que los eventos con mayor propagación espacial fueron E3 (53.20%, mayo-junio 1926), E5 (57.91%, julio 1940), E7 (65.32%, febrero 1959), E9 (57.24%, julio 1973), E10 (58.25%, junio 1974) y E11 (72.73%, enero 1998). La Figura 54 provee otra perspectiva, pues hace uso de anomalías estandarizadas. Obsérvese que en ciertos sub-periodos, las sequías tienden a extenderse menos que lo normal (por ejemplo: 1915-1920; 1950-1955), mientras que en otros, una sucesión de episodios secos persistentes y anómalamente extensos son evidentes (por ejemplo: E9 y E10; E12, E13 y E14).

A fin de focalizar la atención en las sequías más recientes, se aplicó la metodología descrita en los párrafos precedentes, pero usando el producto de lluvia CHIRPS (acrónimo de *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations*; detalles en Trejo *et al*., 2016). El resultado se ilustra en la Figura 55. Es perceptible la prolongada sequía 2014/16, la cual causó estragos sin precedentes sobre los sectores hidroeléctrico afectando la cuenca de mayor importancia hidroeléctrica del país (cuenca del río Caroní) (Paredes-Trejo *et al*., 2018) y teniendo repercusiones importantes desde el punto de vista agrícola, puesto que incidió en gran medida sobre la región cerealera de los llanos venezolanos, así como en zonas esencialmente destacadas por las actividades económicas en el ámbito comercial, financiero, industrial, agroindustrial y agrícola, relacionadas con los rubros de café, papa y horticultura de pisos altos en las áreas más húmedas del sistema coriano y caña de azúcar, hortalizas de piso bajo con riego, entre otras, en las áreas más secas de la región (Olivares *et al*., 2016b).

Es importante destacar que Tim y De Guenni (2016) y Trejo *et al* (2016), basados en registros observacionales, sugieren que los eventos secos más severos y extensivos son principalmente modulados por ENOS y la condición térmica prevaleciente en el Océano Atlántico Tropical. En efecto, se sabe que en conjunto pueden modificar temporalmente la posición y actividad de la Zona Convergencia Intertropical (Taschetto *et al*., 2016; Tomaziello *et al*., 2016).

Es interesante notar que desde el 2017 (Figura 55), las sequías han tenido poca extensión espacial, pero debe tenerse en cuenta que este fenómeno es temporalmente recurrente como lo revelan las fuentes históricas, los registros observacionales y las estimaciones derivadas de satélites y re-análisis climáticos.

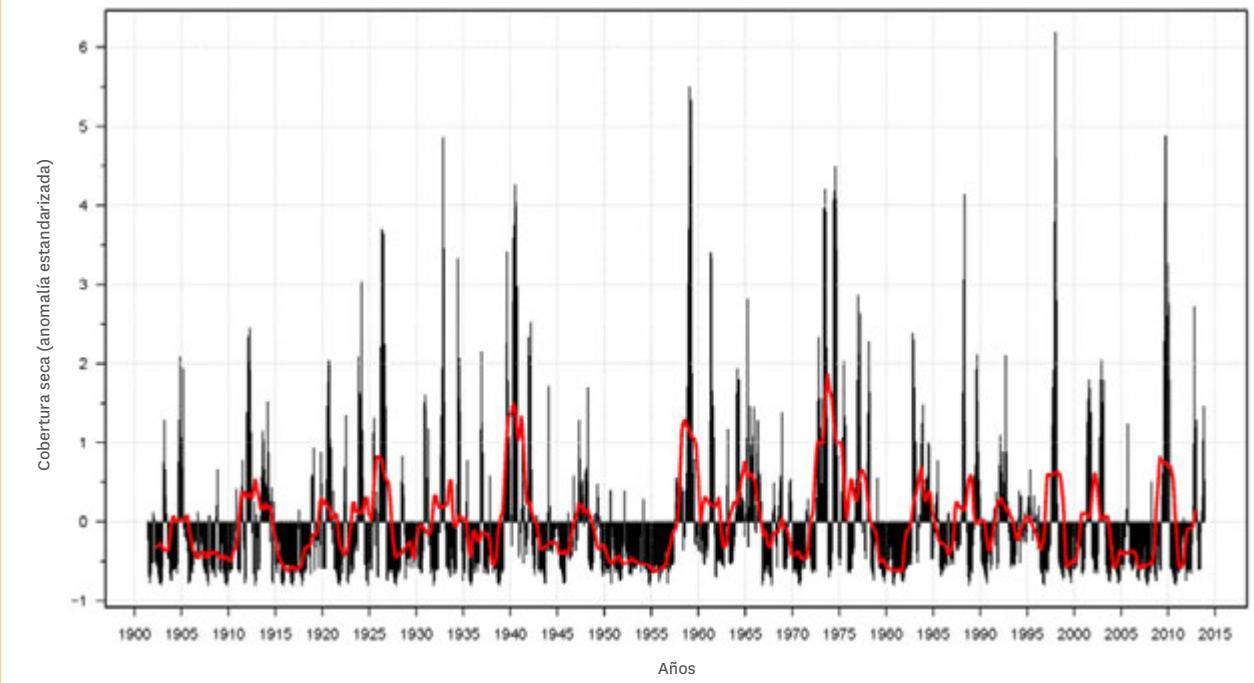


FIGURA 54.

Lo mismo que la Figura 1 pero se muestra como anomalía mensual estandarizada. Periodo base: 01/1901-12/2013. Cada valor observado en la Figura 1 se resta a la media mensual, luego el resultado se divide por la desviación estándar mensual. La línea de color rojo es un promedio móvil centrado de 24 meses.

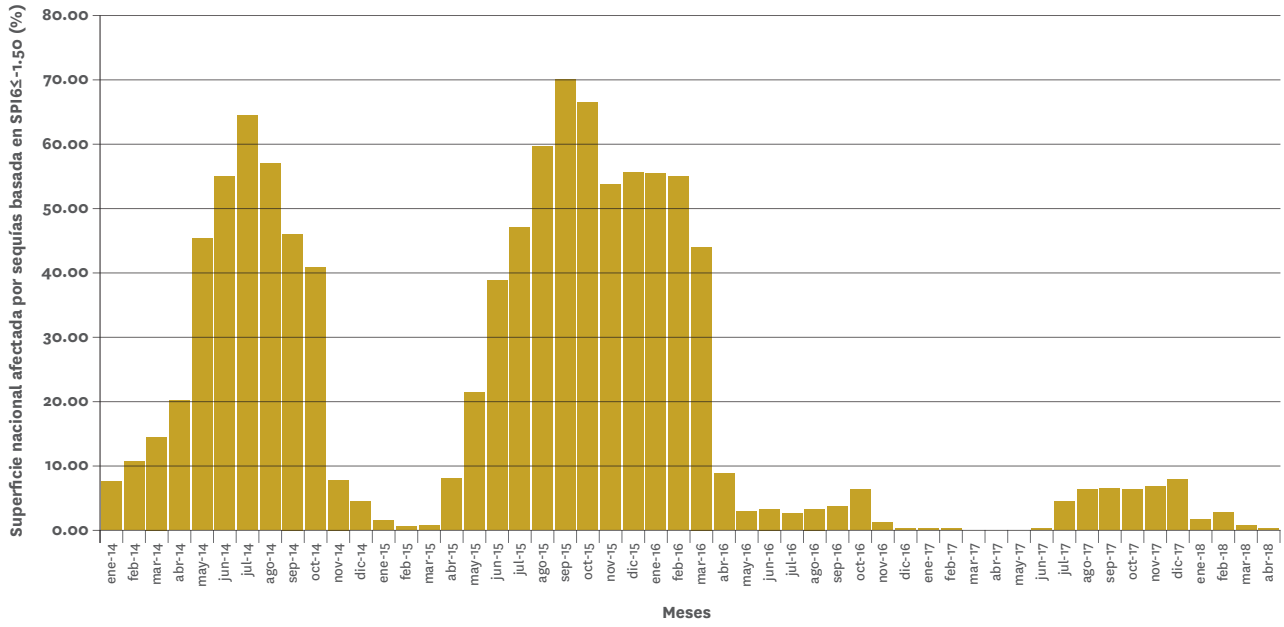


FIGURA 55.

Porcentaje del territorio venezolano afectado por sequías severamente seca o extremadamente seca durante el periodo 01/2014-04/2018. Basado en el SPI agregado semestralmente y derivado del producto de lluvia CHIRPS v2. Periodo base: 07/1981-04/2018.

LOS IMPACTOS DE LA SEQUÍA EN LOS DIFERENTES SECTORES DE VENEZUELA

Venezuela es un país tropical con una superficie terrestre continental de 916445 km2 y una población estimada para el 2018 de 31,828,110 habitantes, cuya principal actividad económica es la explotación y refinación del petróleo para la exportación (Baptista, 2015). Curiosamente, el 65% de la demanda eléctrica nacional se satisface con el aprovechamiento hidroeléctrico de la cuenca del río Caroní (al sureste del país) (Paredes-Trejo *et al.*, 2016). Esta singularidad, contribuye a que el sector eléctrico sea muy vulnerable a las sequías, como se evidenció en la crisis eléctrica 2009/2013 (Ciro, 2011).

Una situación similar afrontan los sistemas de abastecimiento y distribución de agua potable para el consumo urbano. A manera de ejemplo, durante la prolongada sequía del 2009 (ver Figura 54) se redujo casi en un 50% la disponibilidad de agua en el embalse Camatagua y un 100% en el embalse Lagartijo, lo que condujo a racionamientos severos durante varios meses en todos los sistemas de distribución de agua potable abastecidos por la empresa hidrológica HIDROCAPITAL, afectando el servicio de unos 5 millones de personas. Esta situación de escasez severa ocurrió ese año en otras regiones del país, repitiéndose entre 2001 y 2003 (Hernández, 2008), así como a finales de 2015 e inicios de 2016 como consecuencia del fenómeno El Niño (Martínez *et al.*, 2018).

Por otro lado, a pesar de la abundancia de recursos hídricos en Venezuela, sólo 5.7% del aprovechamiento agrícola de las tierras venezolanas se realiza bajo riego (Ovalles *et al.*, 2008); en consecuencia, la producción agrícola es muy vulnerable a la ocurrencia de sequías extremas, donde las repercusiones económicas y

sociales más severas de estos eventos en el territorio, las sufren las comunidades rurales y los pequeños productores, cuya capacidad de recuperación sin asistencia es limitada (Olivares, 2017).

Es conveniente citar que la sequía no es en sí misma un desastre; no obstante, puede llegar a serlo en función de los impactos que cause en la población local, sobre la economía y el medio ambiente, y en función de la capacidad de estos últimos para hacer frente al fenómeno y recuperarse de tales efectos.

A manera general, la sequía tiene la característica peculiar de deteriorar componentes agroproductivos por períodos más prolongados, en comparación a los efectos generados por las tormentas, sismos e inundaciones. En el país, son muchas las actividades que son afectadas por el déficit hídrico que se presenta durante un periodo de sequía, teniendo como consecuencias la inseguridad alimentaria (Olivares *et al*., 2016a), el deterioro de la salud de la población (Hernández, 2008) y repercusiones en los sectores primarios de la economía (Paredes *et al*., 2014; Olivares *et al*., 2016b; Olivares *et al*, 2018).

Adicionalmente, la crisis hídrica en el territorio venezolano se evidenció de manera acelerada en los últimos treinta años con la disminución de los caudales de los ríos y los nacimientos de agua, afectando sobre todo a la población rural y los pequeños agricultores, lo que ha llevado a un alto crecimiento en los precios de los bienes agrícolas provocando, de esta manera, un mayor nivel de inseguridad alimentaria.

LA FRECUENCIA DE SEQUÍAS EXTREMAS EN VENEZUELA

Alrededor del 27% del territorio venezolano se considera árido, englobando gran parte de las cuencas aportantes al Golfo de Venezuela, la vertiente Lara-Falcón Caribe y la cuenca del río Unare (UNESCO, 2010); todas ellas localizadas al norte del país. En estas regiones las sequías son bastante frecuentes (Paredes *et al*., 2014), sin embargo las sequías también se han registrado al sur, a pesar de caracterizarse por la presencia de un régimen de lluvia mucho más húmedo que su contraparte del norte (Paredes-Trejo *et al*., 2016).

Los paneles de la Figura 56 proveen información espacial sobre la frecuencia de las sequías en el territorio venezolano según la metodología descrita por Nuñez *et al*. (2011). Los montos anuales de precipitación esperada para una sequía considerada leve (una vez cada 2 años) se ilustra en la Figura 56a, mientras que para una sequía extrema (una vez cada 100 años) se muestra en la Figura 56b. Asimismo, las Figuras Figura 56c y Figura 56d exhiben el periodo de recurrencia de un episodio seco causante de 10% y 40% de déficit pluviométrico anual, respectivamente. Estos resultados son coherentes con lo indicado en el párrafo precedente; es decir, los montos de precipitación más bajos son dominantes en las regiones noroeste y centro-oriental, donde además las sequías son más frecuentes que en otras zonas del país, implicando que aquellos sectores dependientes de la precipitación son, de manera natural, más vulnerables a las sequías (por ejemplo, los sistemas de abastecimiento y distribución de agua potable para el consumo urbano).

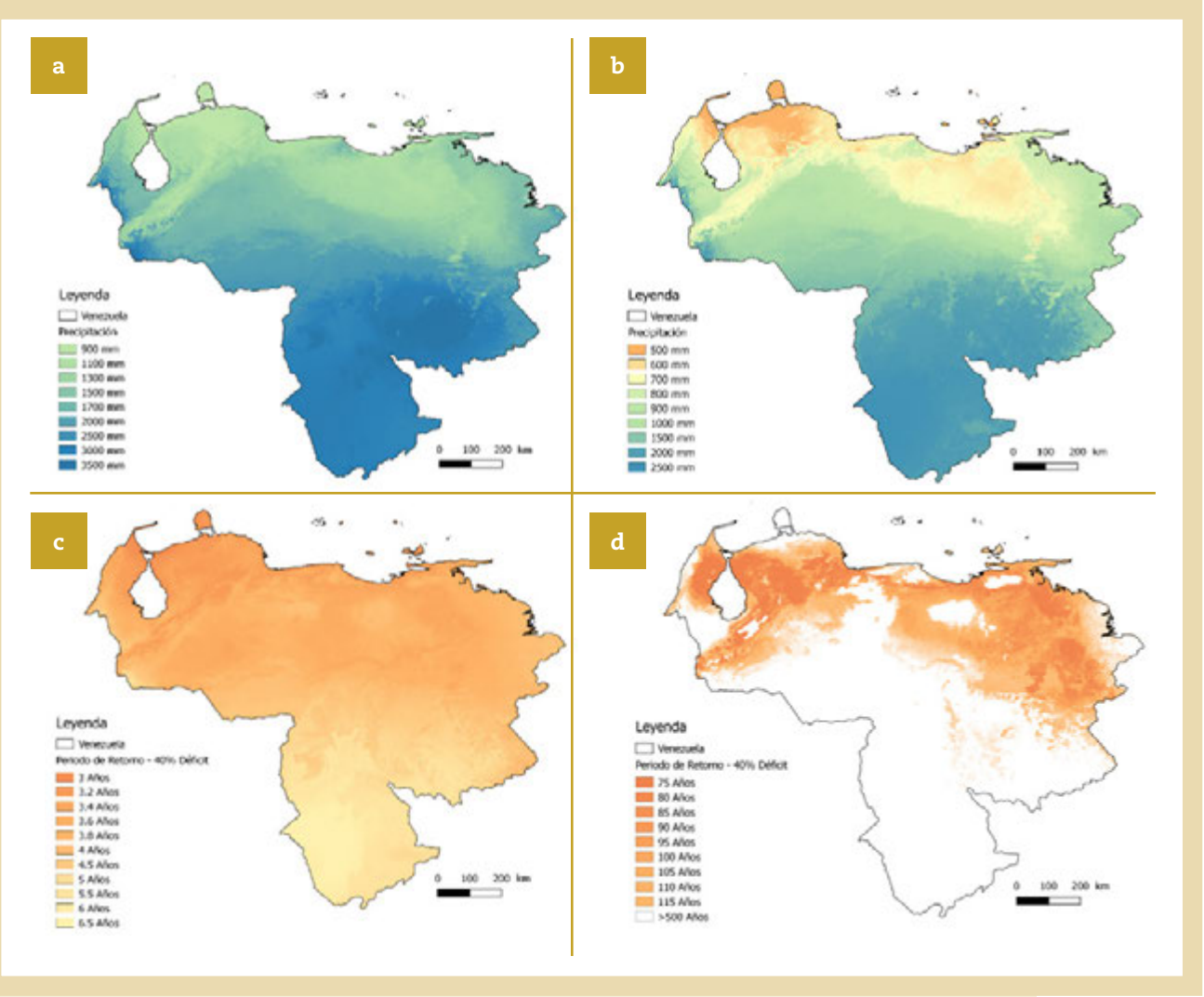


FIGURA 56.

Mapas de precipitación anual esperada para una sequía esperada en a) 1 en 2 años y b) 1 en 100 años. Mapas de periodo de retorno para una sequía equivalente a un c) 10% de déficit y d) 40% de déficit.

LA GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES POR SEQUÍA EN VENEZUELA

De acuerdo con la Ley de la Organización Nacional de Protección Civil y Administración de Desastres (2001), en Venezuela, la Gestión del Riesgo de Desastres (GRD) recae en el Ministerio del Poder Popular para Relaciones Interiores y Justicia (MPPRIJ), quien se apoya en el Comité de Coordinación Nacional de Protección Civil y Administración de Desastres. Entre otros aspectos, dicha Ley indica que los gobiernos estatales y municipales deben contar con sus propias organizaciones de protección civil y administración de desastres, siendo el Gobernador y el Alcalde, en sus respectivos ámbitos territoriales, la máxima autoridad ejecutiva en materia de protección civil y atención de desastres.

A propósito de la Gestión del Riesgo de Sequías (GRS), el reconocimiento oficial de una condición de sequía así como los mecanismos de respuesta para hacer frente a dicha condición es competencia del MPPRIJ, sin embargo durante la severa sequía del 2009/2013 la vocería fue compartida entre el Ministerio del Poder Popular para la Energía Eléctrica (MPPEE), el Ministerio del Poder Popular para la Agricultura y las Tierras (MPPAT) y el Ministerio para el Ecosocialismo y Aguas (MINEA), pues impactó el sistema de generación

hidroeléctrica, la agricultura de secano, los rebaños bovinos y los embalses que surten los principales acueductos del país (Olivares, 2017). De hecho, fue tan severa que se hizo necesario promulgar un decreto de emergencia eléctrica nacional a inicio del 2010, a fin de permitir al Ejecutivo el traspaso de recursos inicialmente destinados a otros sectores.

A manera ilustrativa, la Figura 57 resume los principales actores que conforman el Sistema Nacional de Gestión de Riesgo y de la Coordinación Nacional de Seguridad Ciudadana, a través del cual se emiten declaratorias de Estado de Alarma o Estado de Emergencia en caso de ocurrencia de sequías extraordinarias con incidencia a escala nacional, regional o local.

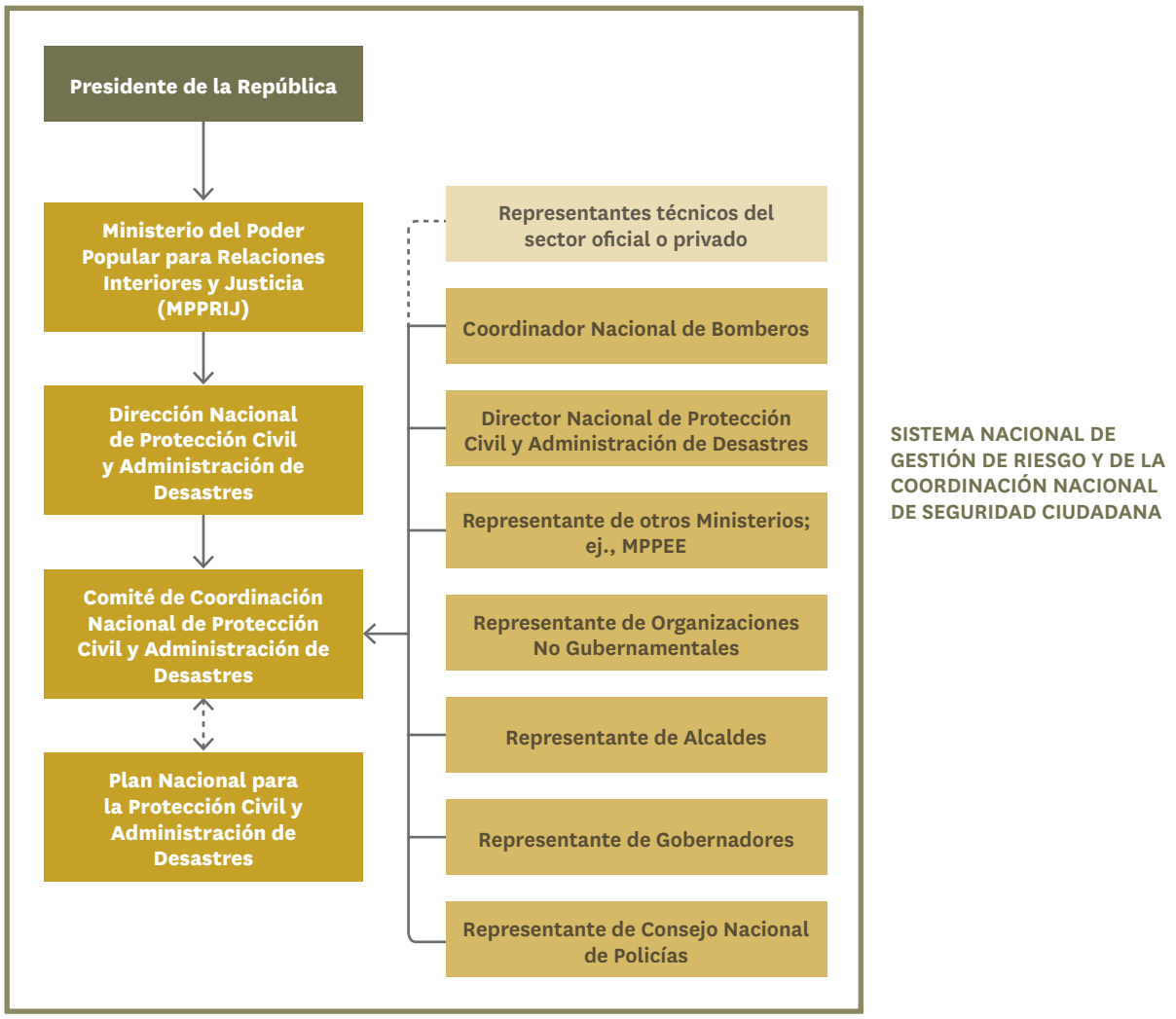


FIGURA 57.

Paisaje institucional de la sequía en Venezuela

Dando continuidad al tema de la GRS, debe mencionarse que el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH), quien es el ente oficial de divulgación de información hidrológica y meteorológica en Venezuela (adscrito al MINEA), cuenta con un sistema de monitoreo de sequías basado tanto en el SPI

como en la anomalía mensual de la precipitación, ambos derivados de los registros de precipitación del INAMEH. Sin embargo, los boletines sobre este fenómeno se han divulgado irregularmente a lo largo del tiempo (ver sección Monitoreo en el portal institucional http://www.inameh.gob.ve).

Al respecto, es importante destacar que el INAMEH junto a los servicios meteorológicos de Bolivia, Chile, Colombia, Ecuador y Perú forman parte del Centro Regional del Clima para el Oeste de Sudamérica (CRC – OSA). Este centro operacional emplea datos derivados de satélites para generar diferentes mapas que muestran al usuario la distribución espacial del SPI, el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI, por sus siglas en inglés) y la anomalía de precipitación acumulada mensual (http://crc-osa.ciifen.org/) sobre América Latina y el Caribe.

Similar al CRC – OSA, el Observatorio de la Desertificación, la Degradación de las Tierras y la Sequía de América Latina (SCADO), creado por el Centro de Investigación Conjunto de la Unión Europea (JRC por sus siglas en inglés) en el marco del programa EUROCLIMA, suministra a sus usuarios una amplia variedad de herramientas geoespaciales para el análisis del fenómeno de la sequía en la región de América Latina y el Caribe (http://scado.ciifen.org).

Otra iniciativa relevante sobre este particular, es el Observatorio Latinoamericano de Eventos Extraordinarios administrado por el Centro de Modelado Científico de La Universidad del Zulia (http://www.cmc.org.ve/ole2/index.php) en Venezuela, quien distribuye productos climáticos que muestran la evolución espacial y temporal de la precipitación y su pronóstico para el corto y mediano plazo. Entre tales productos, los mapas de anomalías mensuales de la precipitación proveen información valiosa sobre el estado de la sequía a escala nacional.

A pesar de los proyectos mencionados, al día de hoy, no hay un sistema oficial y público de monitoreo operacional de sequía que usen los organismos gubernamentales para difundir las condiciones de sequía en el país, aunque el INAMEH suele emitir alertas de sequía cuando esta condición afecta sectores sensibles a este fenómeno (ej. hidroeléctrico, abastecimiento hídrico y agrícola), como ocurrió durante la severa sequía del 2009/2013.

Recientemente, dentro de líneas estratégicas del Programa de Acción Nacional de Lucha contra la Desertificación y Mitigación de la Sequía de la República Bolivariana de Venezuela, se plantea la necesidad de un programa de implementación de la iniciativa de la Sequía 2018-2019 para Venezuela, esto representaría un avance significativo en el proceso de establecimiento de políticas de combate a la sequía; considerando la importancia de los impactos socio-económicos y de la vulnerabilidad del país a eventos extremos como la sequía, participando representantes de los sectores vinculados a la hidrología, meteorología, electricidad, agricultura, aguas, incendios forestales, y de las organizaciones comunitarias, lo cual constituye una primera etapa conducente a la elaboración del Plan Nacional de Sequía (PNS).

Sin embargo, es conveniente indicar que a nivel nacional existen experiencias puntuales vinculadas con la instalación de equipos o instrumentos caseros de fácil construcción para las comunidades rurales, con el fin de fomentar la prevención de desastres naturales en Venezuela. Tal es el caso del proyecto: "Reforzando la capacidad de resiliencia frente a eventos de origen natural, en comunidades vulnerables de los estados Miranda y Distrito Capital, Venezuela", el cual contempló la implementación de un Sistema de Alerta Temprana a nivel Comunitario (SATC), donde los miembros de las comunidades participan directamente en las actividades de monitoreo utilizando técnicas caseras o populares (Caritas de Venezuela, 2011).

Asimismo, el INAMEH formalizó la instalación de la Red de Pluviómetros Comunitarios (RPC), programa que se estuvo adelantando con las comunidades organizadas, y del cual derivó el Comité Comunitario de Gestión de Riesgo (CCGR) y los SATC en varias localidades del país (INAMEH, 2013).

Por otra parte, la investigación desarrollada por Olivares *et al*. (2016c) enfatizó en la creación de un sistema de información para el establecimiento de la red de pluviómetros alternativos en medios rurales en el estado Anzoátegui, Venezuela, con el apoyo del Sistema de Información de las Áreas Agroecológicas (SIAA) del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA), cuya principal función fue la generación de

información adicional con valor agregado, derivándose una primera aproximación para el desarrollo de los índices de concentración de la precipitación y agresividad climática, adaptabilidad agroecológica del cultivos a nivel local, así como la caracterización de la precipitación, sequías, anegamientos y la influencia en el crecimiento de los cultivos.

En general, el progreso en las investigaciones representadas por el estudio del fenómeno de sequía: causas, consecuencias, estrategias de evaluación y mitigación en Venezuela, entre otros temas, resultan insuficientes para encontrar los mecanismos adecuados para prevenir, planear y mitigar los efectos de ésta en la nación a través de la GRS. El análisis precedente, refleja que aunque existen instituciones nacionales y regionales que abordan el estudio de este fenómeno, es evidente que el avance es desigual y en muchos lugares, esto es incipiente o nulo.

Desafortunadamente, la poca representatividad de las estaciones climáticas distribuidas en el territorio venezolano, la inconsistencia en los registros históricos y el reducido historial de información disponible, limitan cualquier intento de creación de un sistema de GRS en términos de largo plazo.

Atlas de la Frecuencia de Sequías
en América Latina y el Caribe

© Pixabay/Gerhard Gellinger, CCo Creative Commons

Introducción

A continuación, se presenta el Atlas de la Frecuencia de Sequías en América Latina y el Caribe, que incorpora los mapas de la región identificando los periodos de retorno de las sequías. El Atlas ha sido creado utilizando un Análisis Regional de Frecuencias basados en L-momentos tal como ha sido presentada por los autores en UNESCO (2010) y su versión más actualizada en el trabajo de Núñez *et al* (2016) aplicada a la escala de la Región de América Latina y el Caribe. En el último capítulo de este Atlas se presenten las bases técnicas para el análisis regional de frecuencia de la precipitación, que incorpora en mayor detalle la metodología utilizada para la generación de los mapas.

Con base en el modelo de 5 etapas descrita en ese capítulo, son calculados dos tipos de producto. El primero consiste en mapas de precipitación anual estimada para diferentes niveles de recurrencia de eventos de sequía anual, desde la sequía ocurrida en 1 de 100 años hasta la sequía leve (correspondiente a la mediana) que ocurre con una frecuencia media de 1 cada 2 años, con intervalos de 10 años.

El segundo producto consiste en mapas de periodo de retorno - o de recurrencia media- estimado para distintos porcentajes de la precipitación anual (PPN), equivalentes a déficits de la precipitación anual de 0, 10, 20, 30 y 40%. No se incluyó niveles mayores de déficit debido a que la estimación de periodo de retorno para dichos niveles solamente es de interés en las regiones más secas de la Región. Por lo tanto, pueden considerarse de interés más local que regional.

La paleta de colores adoptada corresponde a la denominada ColorBrewer de tipo secuencial la cual ha sido recomendada para el mapeo de variables climáticas debido a que optimiza la transmisión de información (Kayen *et al*., 2012)

LAS FUENTES DE DATOS UTILIZADAS

Dos fuentes de datos de precipitación mensual se utilizaron para la elaboración del Atlas. Estas corresponden a:

1) Climatic Research Unit (CRU): Datos de precipitación grillada del CRU versión 3.24 con una resolución espacial de 0.5° para un intervalo de tiempo entre 1970 y 2015. Los datos fueron procesados por el ambiente de programación y cómputo R y proyectados en el sistema de coordenadas geográficas 'Sistema Geodésico Mundial 1984' (WGS 84).
2) Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data (CHIRPS): Datos de precipitación grillada CHIRPS v 2.0 con una resolución espacial de 0.05° para un intervalo de tiempo entre 1970 y 2015. Los datos fueron procesados por el ambiente de programación y cómputo R y proyectados en el sistema de coordenadas geográficas 'Sistema Geodésico Mundial 1984' (WGS 84).

La selección de la base de datos a utilizar en función del país tuvo como criterio el tamaño de mismo. Para países pequeños, como aquellos que caracterizan, por ejemplo, la zona del Caribe, se utilizó la base de datos CHIRPS mientras que para países de gran tamaño como Brasil, México o Argentina, la base de datos utilizada fue CRU. En cualquier otro caso, las estimaciones de frecuencia se obtuvieron mediante interpolación bilineal. El detalle de la base de datos utilizada según país se presenta en la Tabla a continuación:

TABLA 5 FUENTES DE LOS DATOS PARA GENERAR LOS MAPAS NACIONALES DEL ATLAS DE SEQUÍAS PARA AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE

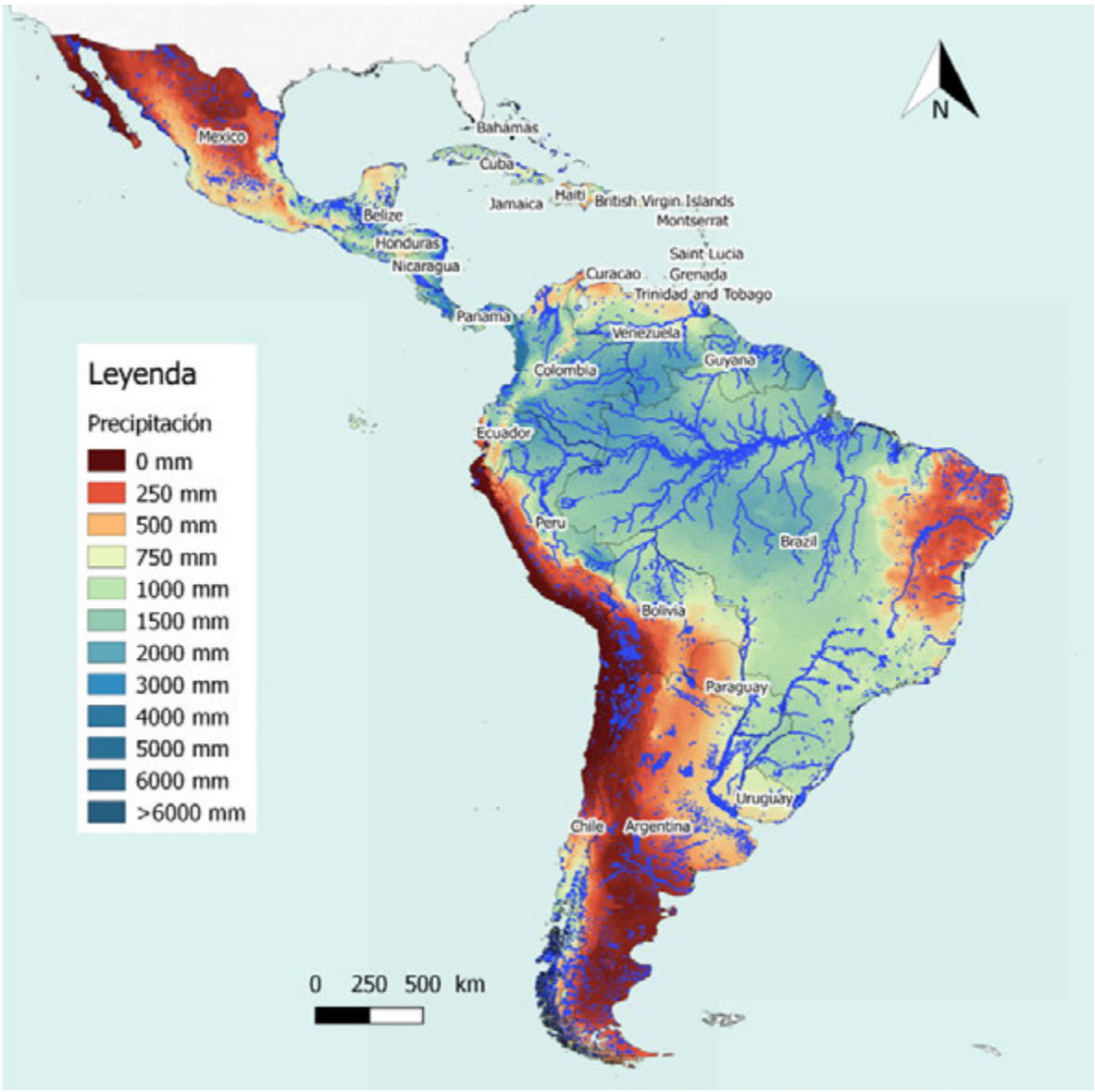
PAÍS	BASE DATOS
Antigua y Barbuda	CHIRPS
Argentina	CRU
Bahamas	CHIRPS
Barbados	CHIRPS
Belice	Interpolación bilineal
Bermuda	Interpolación bilineal
Bolivia (Estado Plurinacional)	CRU
Bonaire, San Eustaquio y Saba	CHIRPS
Brasil	CRU
Islas Caimán	Interpolación bilineal
Chile	CRU
Colombia	CRU
Costa Rica	CRU
Cuba	CRU
Curazao	Interpolación bilineal
Domínica	CHIRPS
República Dominicana	CHIRPS
Ecuador	CRU
El Salvador	CHIRPS
Guyana Francesa	CHIRPS
Granada	CHIRPS
Guadalupe	CHIRPS
Guatemala	CRU
Guyana	CRU

PAÍS	BASE DATOS
Haití	CHIRPS
Honduras	CHIRPS
Jamaica	CHIRPS
Martinica	CHIRPS
México	CRU
Montserrat	CHIRPS
Nicaragua	CRU
Panamá	CHIRPS
Paraguay	CRU
Perú	CRU
Puerto Rico	Interpolación bilineal
San Bartolomé	CHIRPS
San Cristóbal y Nieves	CHIRPS
Santa Lucía	CHIRPS
San Martin (parte francesa)	CHIRPS
San Vicente y Granadinas	CHIRPS
Isla de San Maarten (parte holandesa)	CHIRPS
Surinam	CRU
Trinidad y Tobago	CHIRPS
Islas Turcas y Caicos	CHIRPS
Uruguay	CRU
Venezuela (República Bolivariana)	CRU
Islas Vírgenes (Británica)	CHIRPS
Islas Vírgenes (EEUU)	CHIRPS

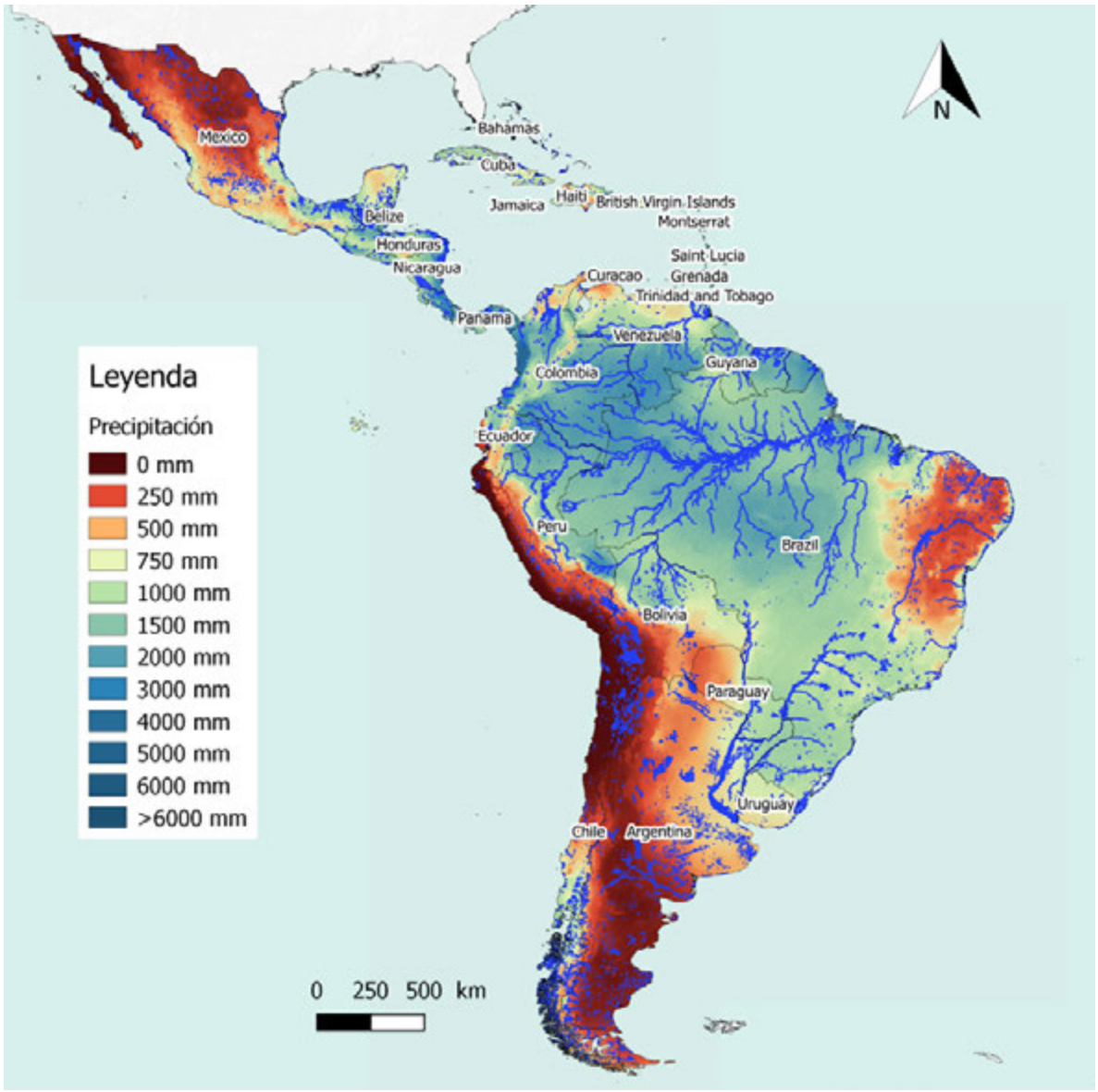
CRU CHIRPS Interpolación bilineal

Mapas de **Frecuencia de Precipitación Anual**

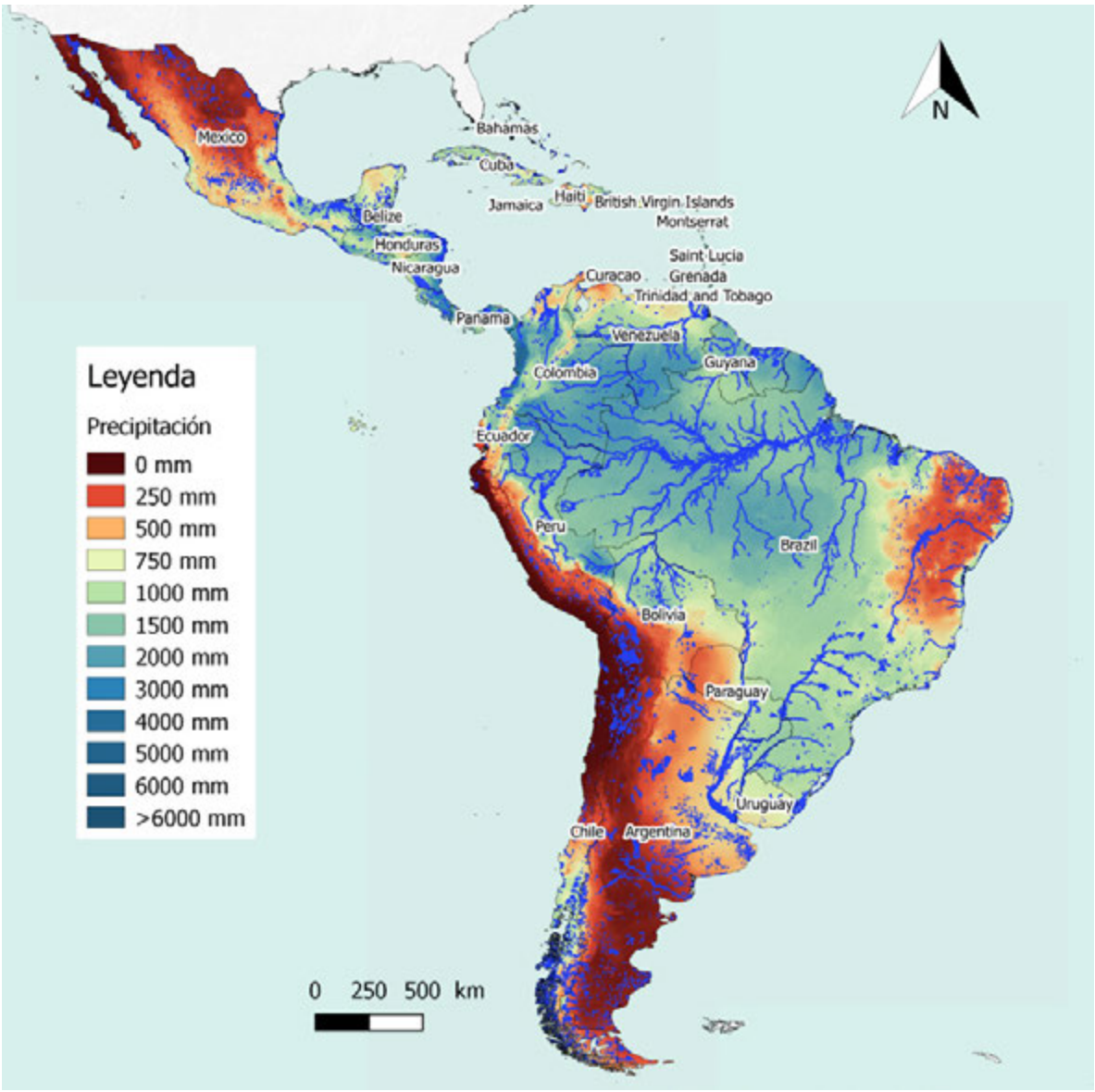
PRECIPITACIÓN MÍNIMA ESPERADA UNA VEZ CADA 100 AÑOS



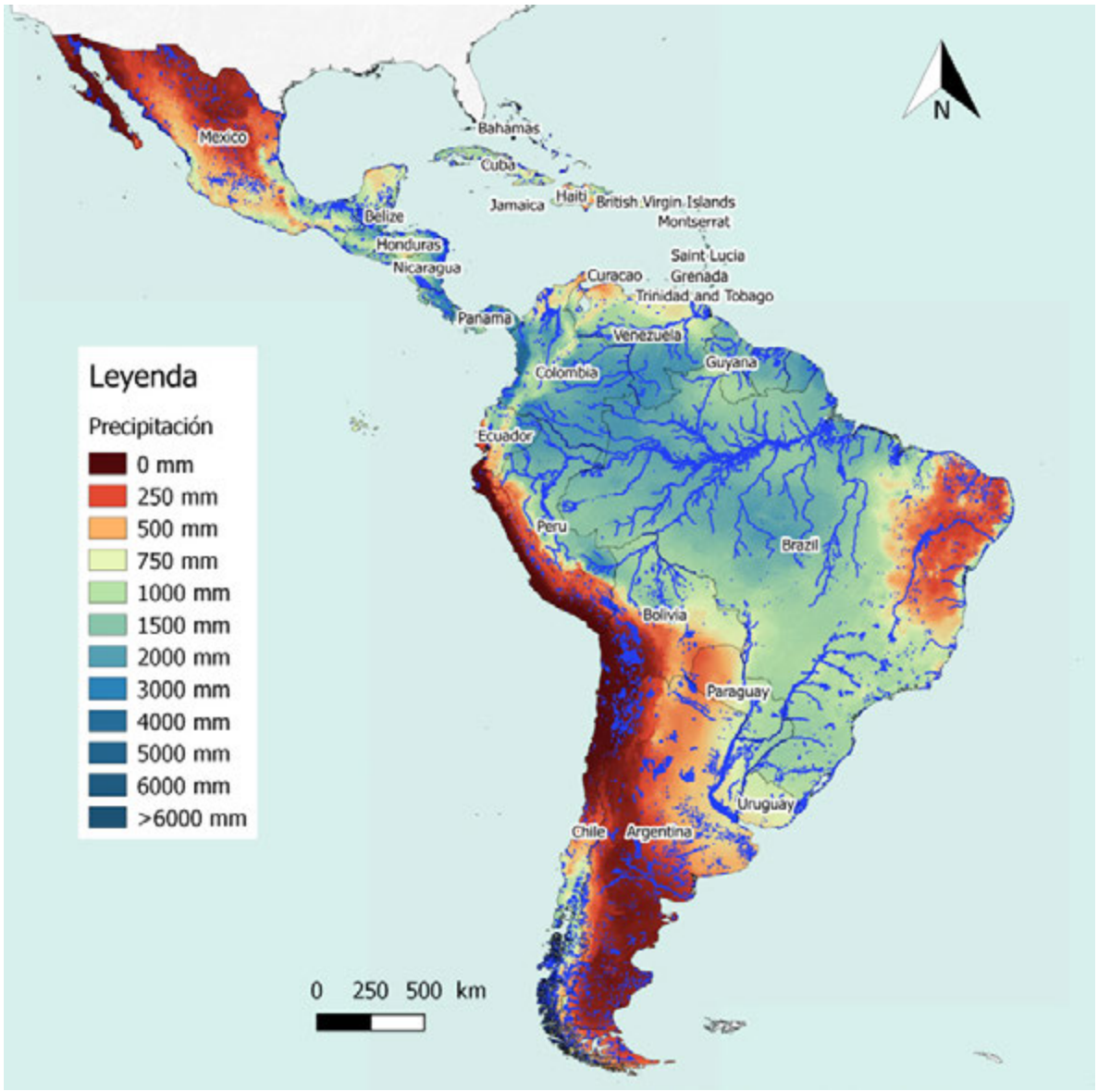
PRECIPITACIÓN MÍNIMA ESPERADA UNA VEZ CADA 90 AÑOS



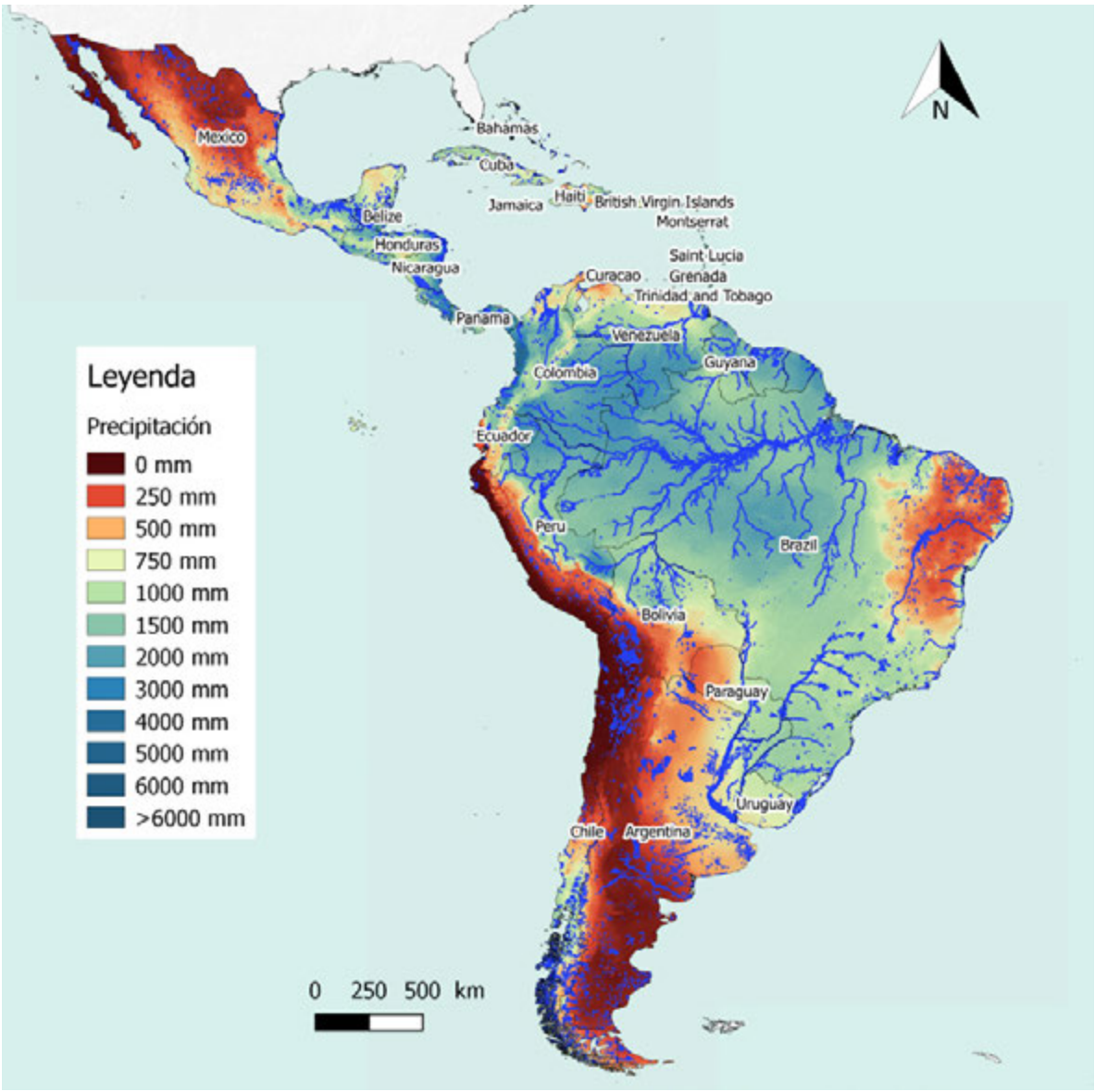
PRECIPITACIÓN MÍNIMA ESPERADA UNA VEZ CADA 80 AÑOS



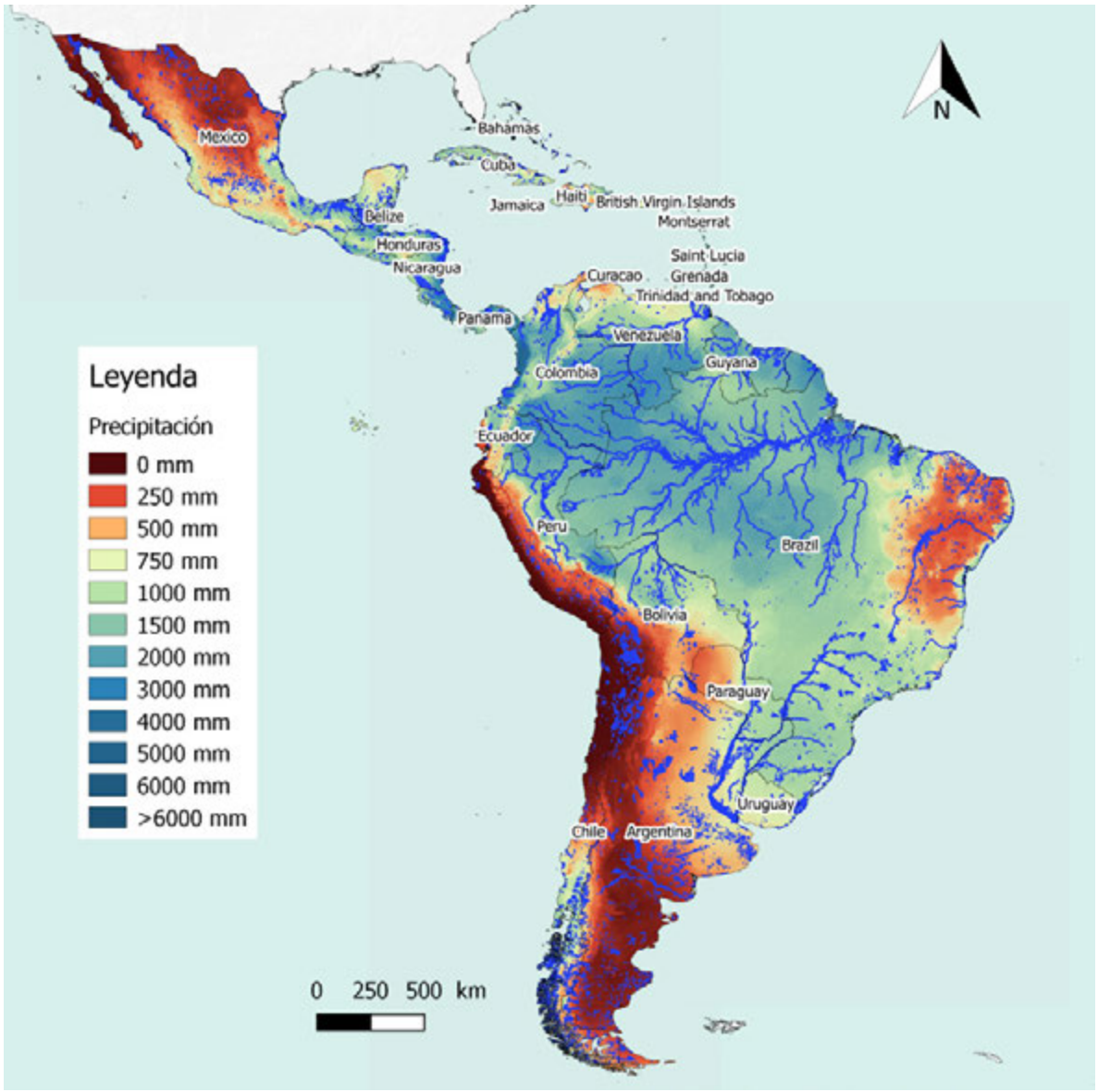
PRECIPITACIÓN MÍNIMA ESPERADA UNA VEZ CADA 70 AÑOS



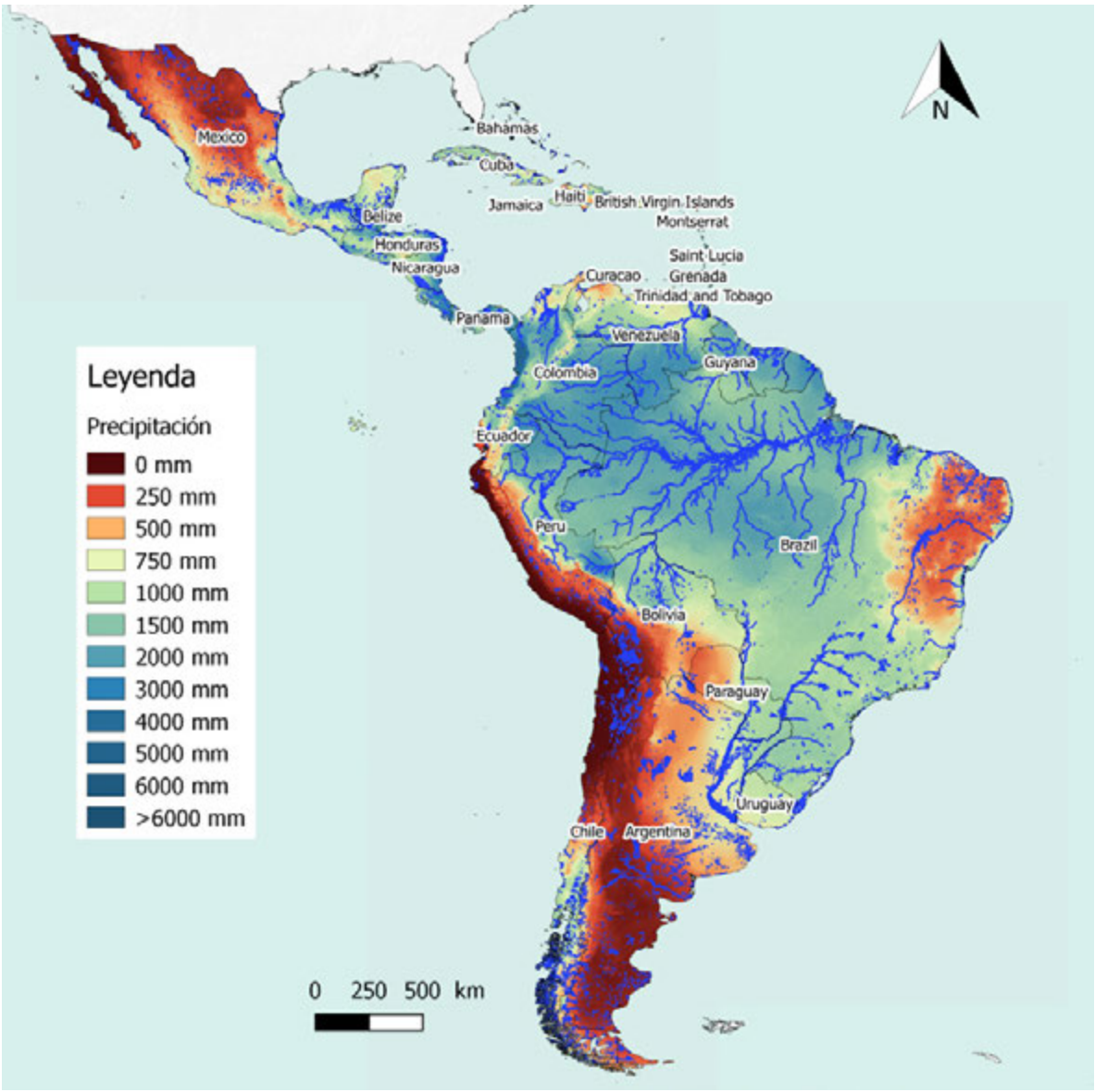
PRECIPITACIÓN MÍNIMA ESPERADA UNA VEZ CADA 60 AÑOS



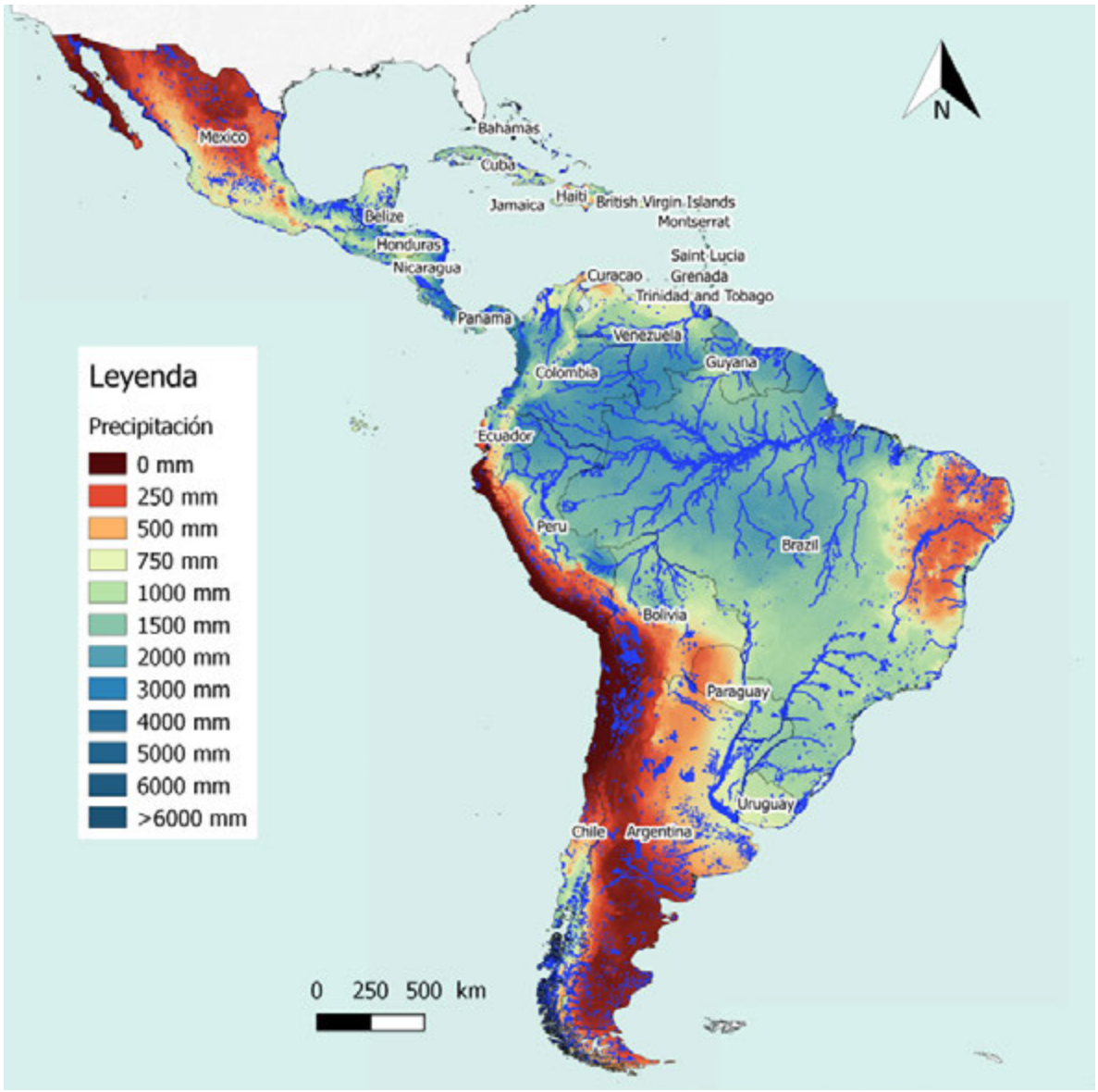
PRECIPITACIÓN MÍNIMA ESPERADA UNA VEZ CADA 50 AÑOS



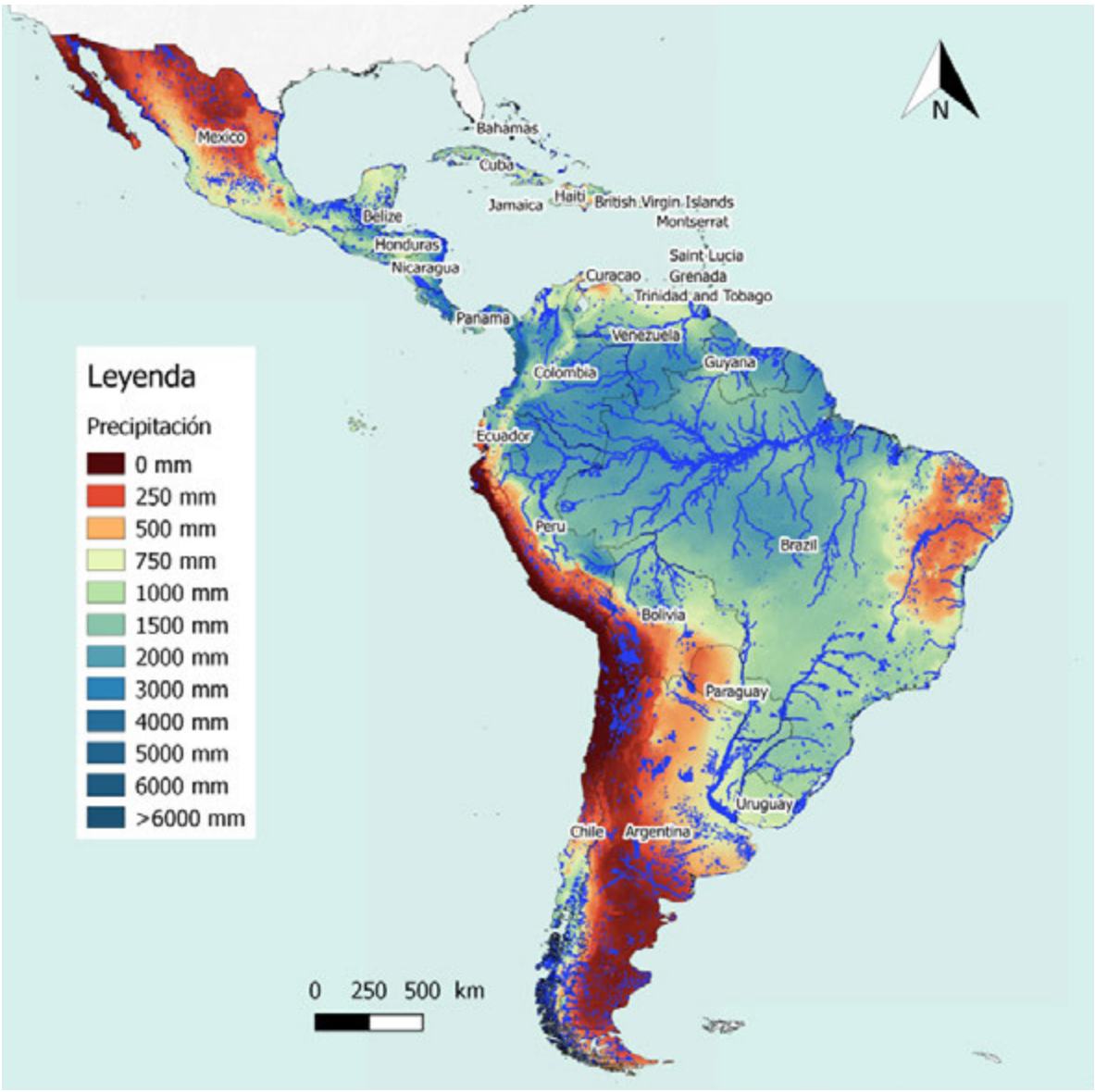
PRECIPITACIÓN MÍNIMA ESPERADA UNA VEZ CADA 40 AÑOS



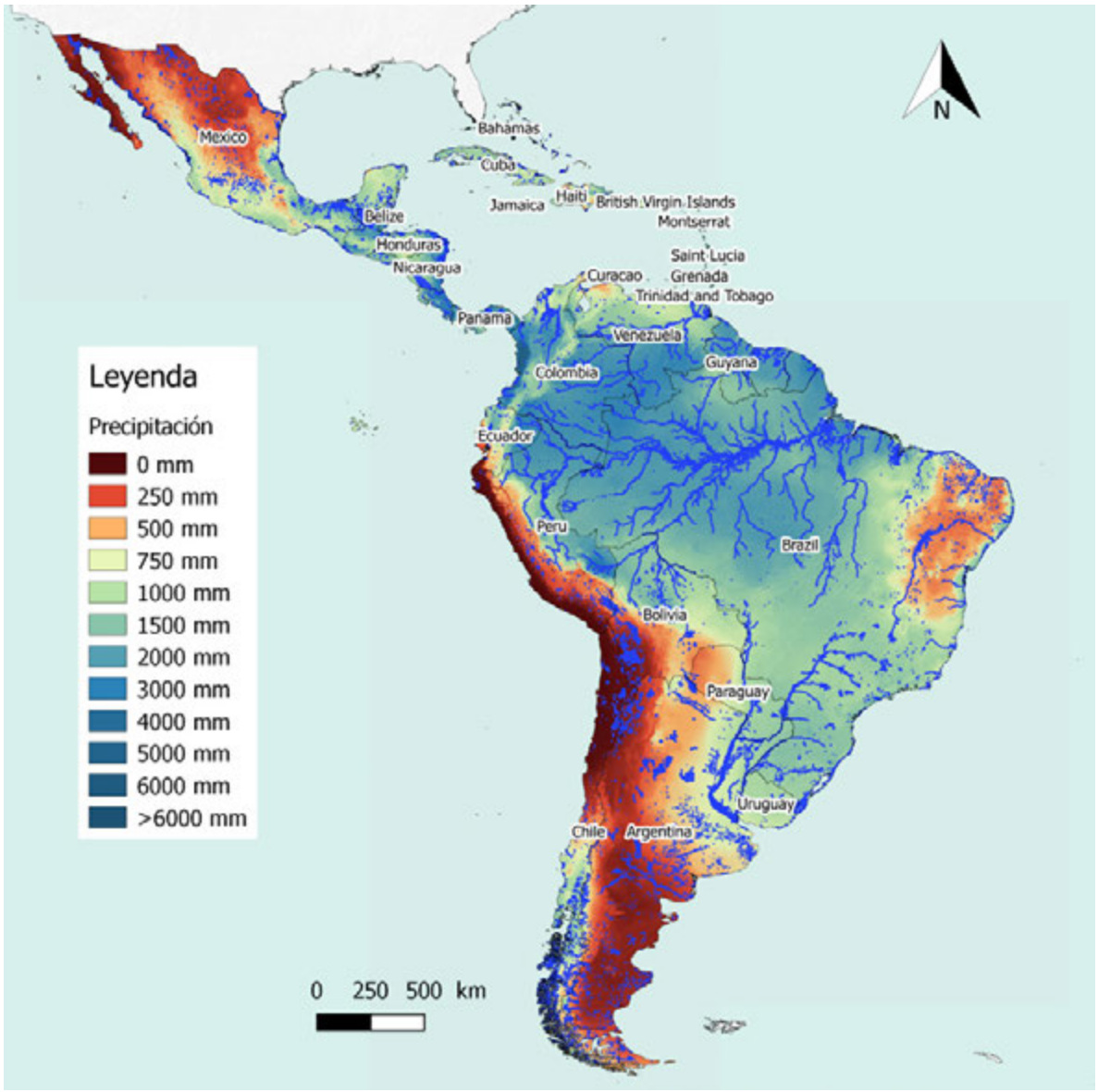
PRECIPITACIÓN MÍNIMA ESPERADA UNA VEZ CADA 30 AÑOS



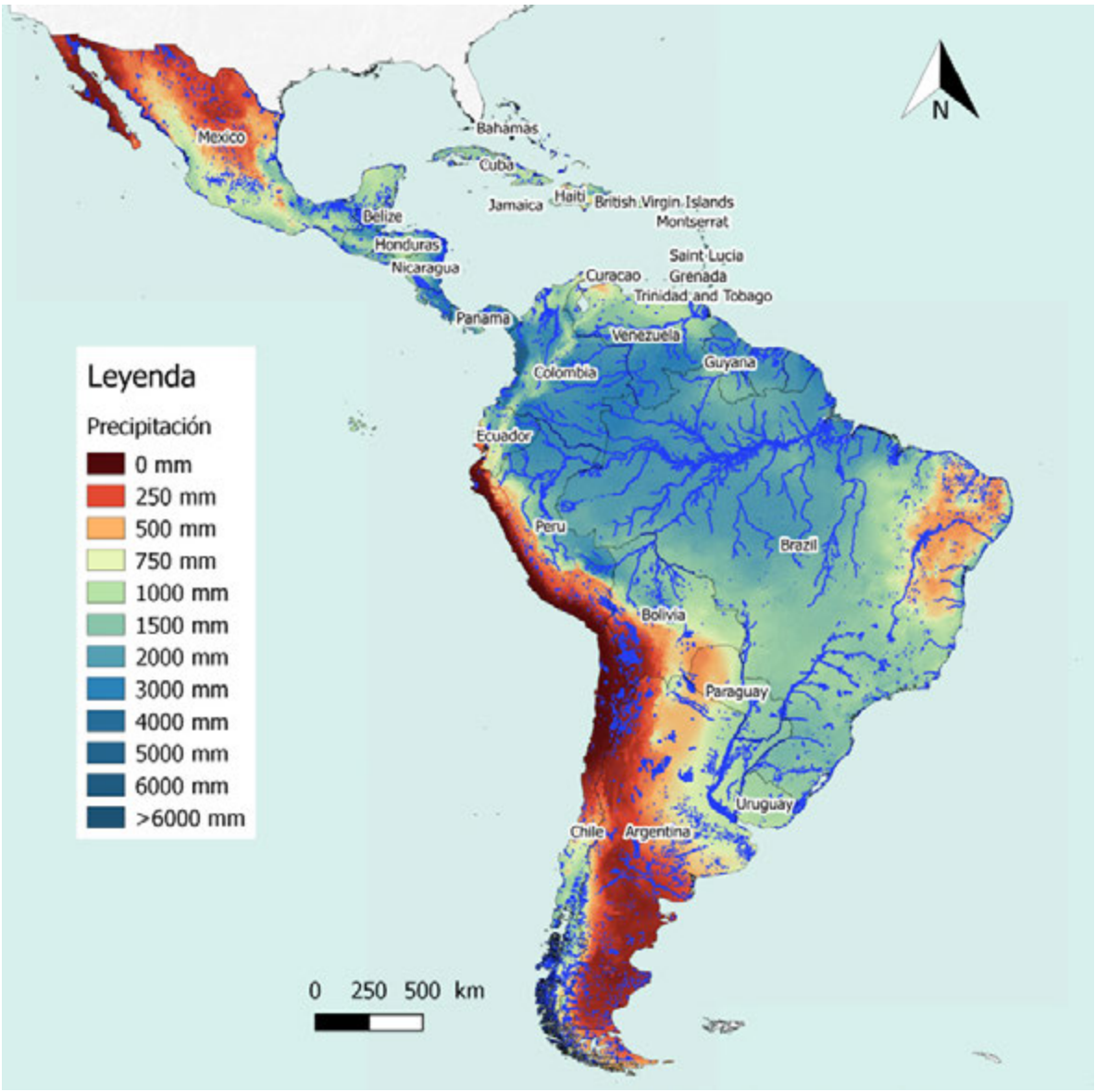
PRECIPITACIÓN MÍNIMA ESPERADA UNA VEZ CADA 20 AÑOS



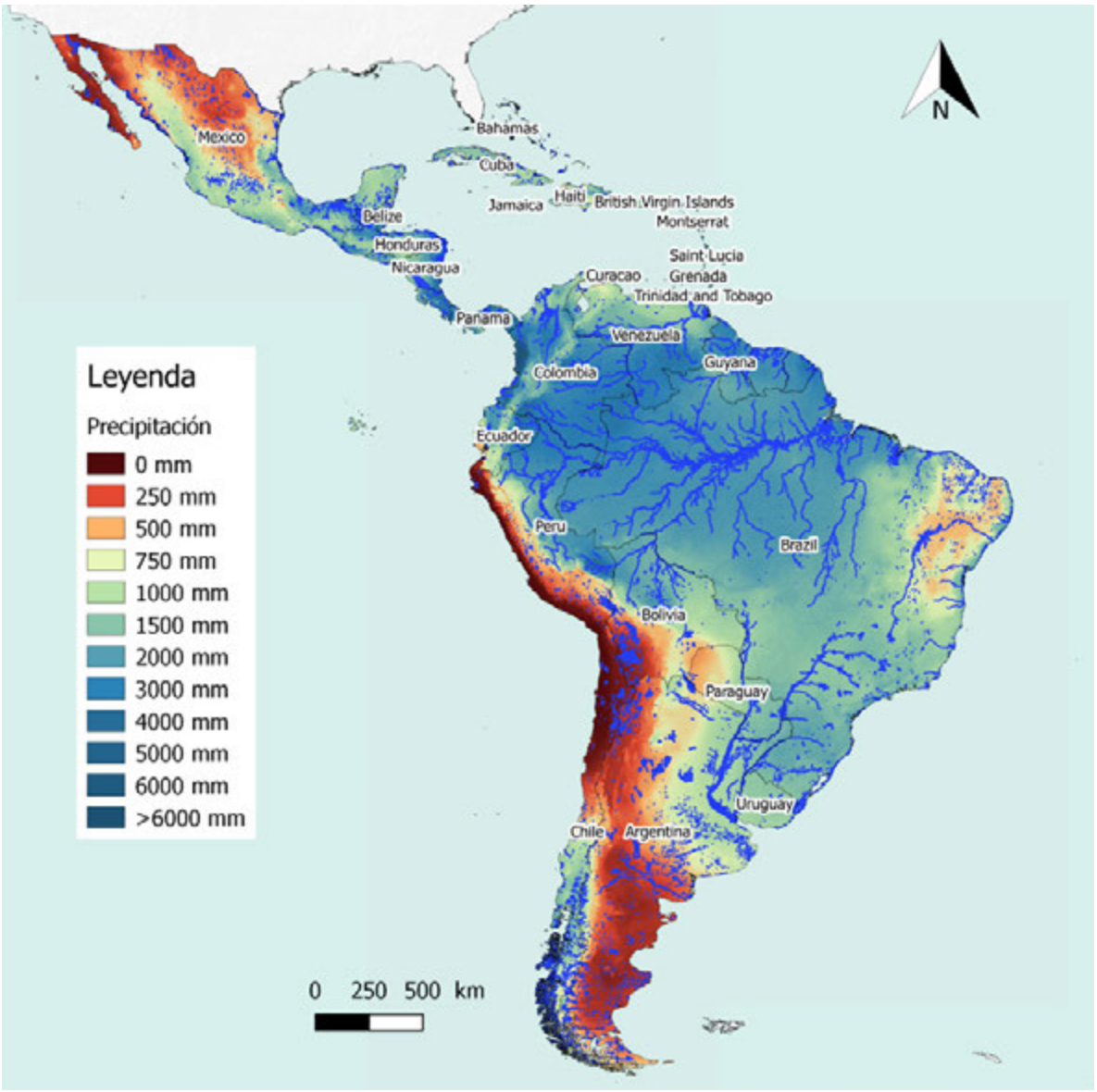
PRECIPITACIÓN MÍNIMA ESPERADA UNA VEZ CADA 90 AÑOS



PRECIPITACIÓN MÍNIMA ESPERADA UNA VEZ CADA 5 AÑOS

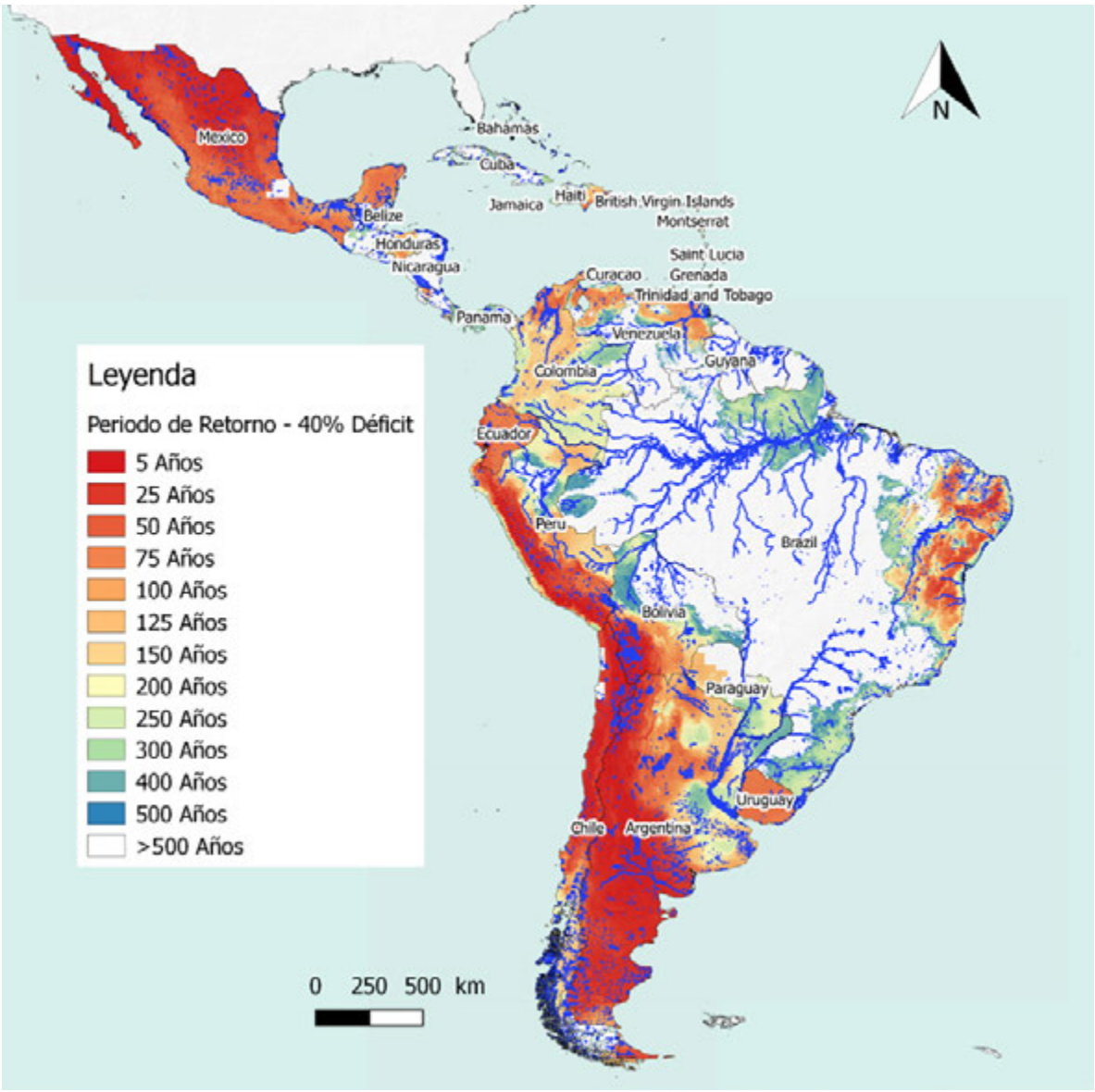


PRECIPITACIÓN MÍNIMA ESPERADA UNA VEZ CADA 2 AÑOS

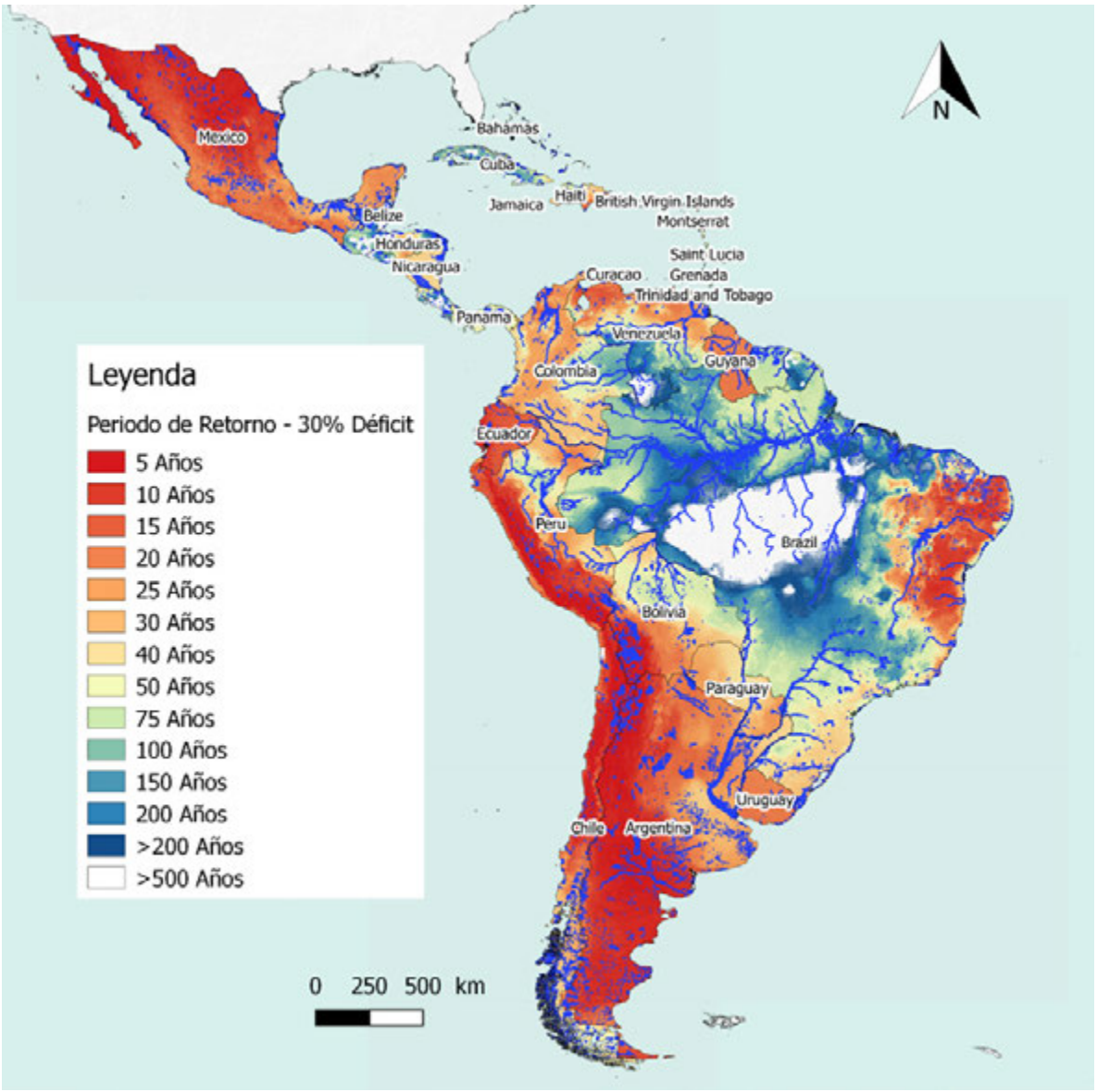


Mapas de **Recurrencia de Sequías**

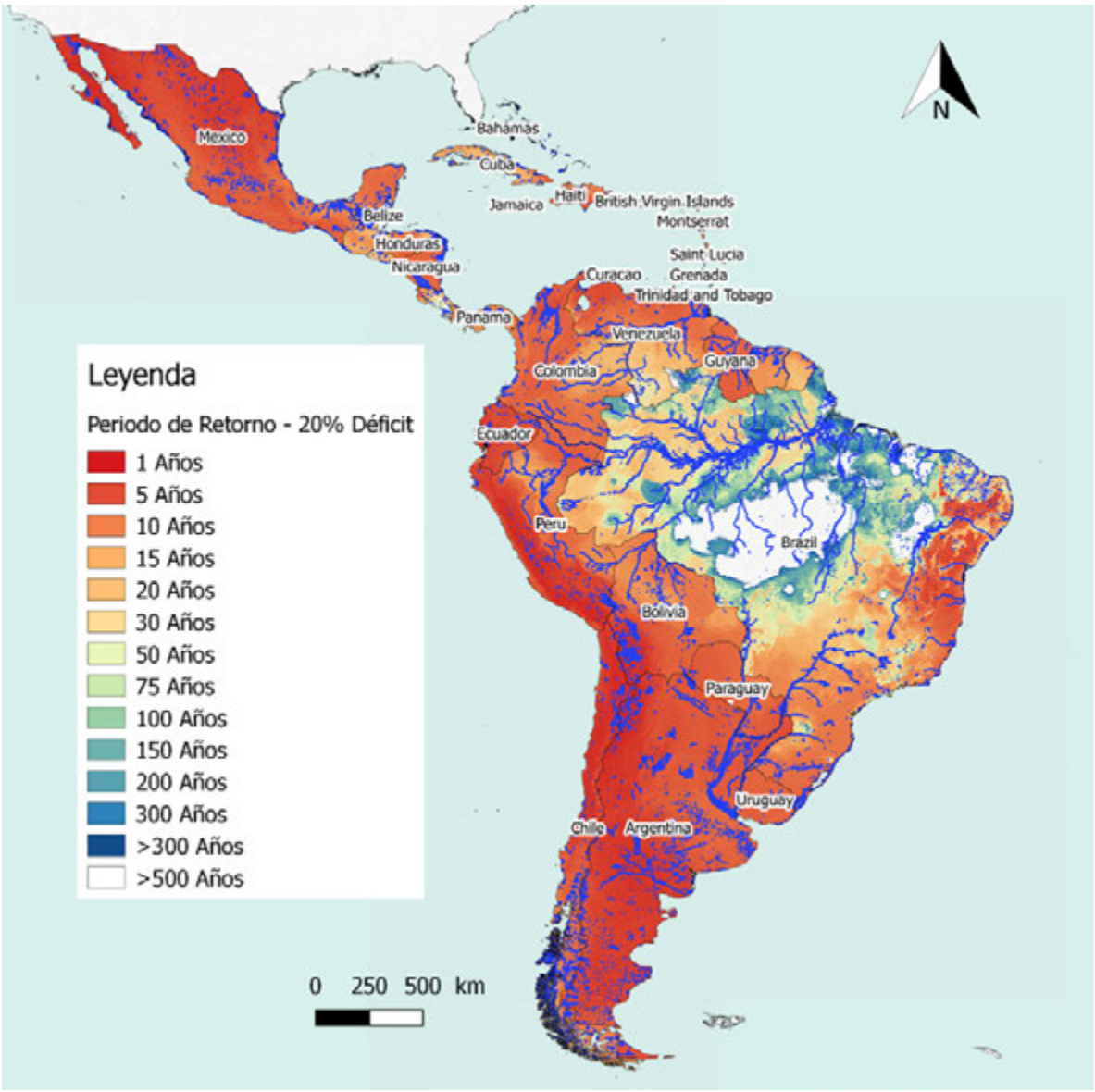
RECURRENCIA DE UNA PRECIPITACIÓN ANUAL CON UN DÉFICIT DE 40% DE LO NORMAL



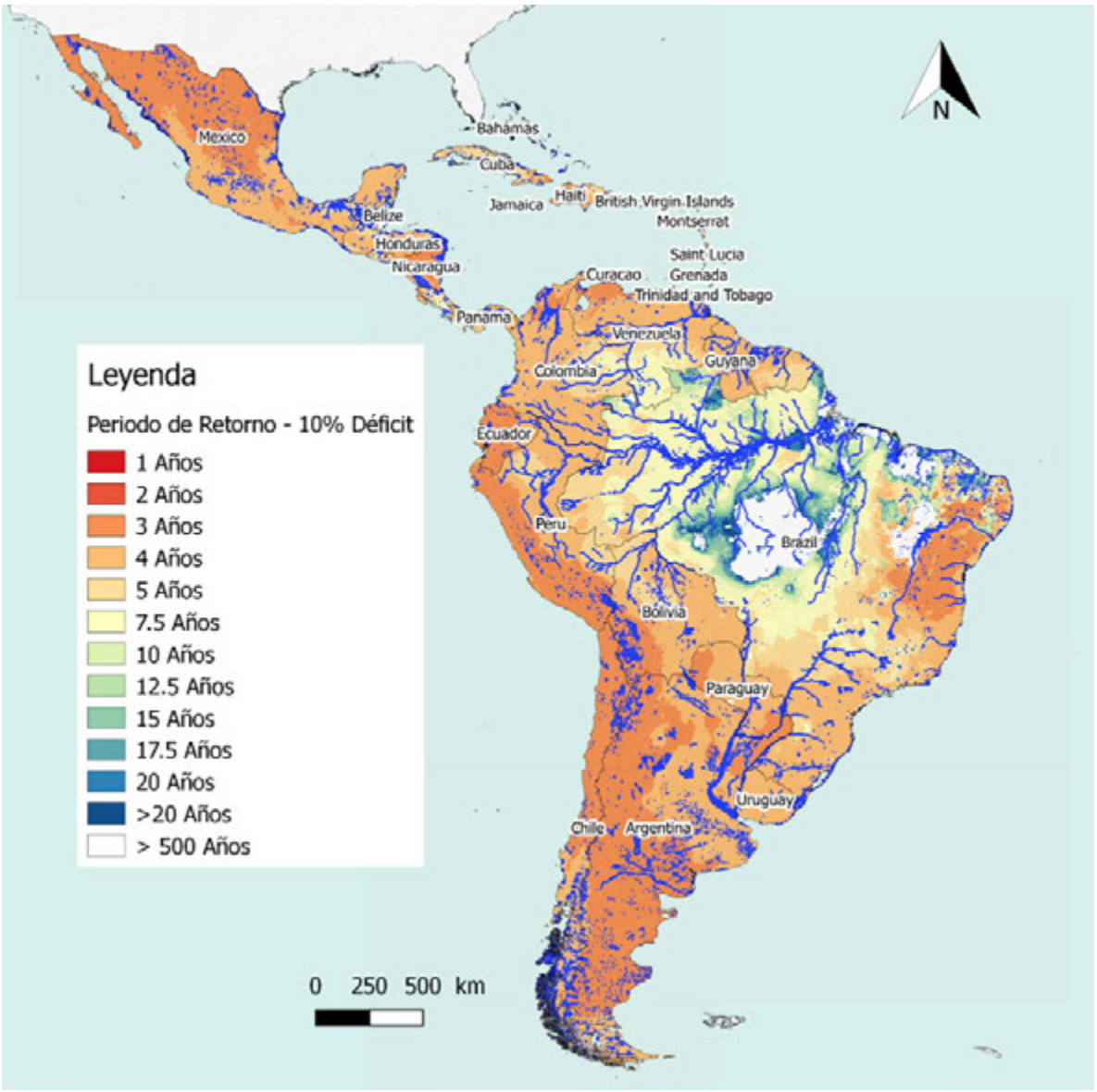
RECURRENCIA DE UNA PRECIPITACIÓN ANUAL CON UN DÉFICIT DE 30% DE LO NORMAL



RECURRENCIA DE UNA PRECIPITACIÓN ANUAL CON UN DÉFICIT DE 20% DE LO NORMAL



RECURRENCIA DE UNA PRECIPITACIÓN ANUAL CON UN DÉFICIT DE 10% DE LO NORMAL



RECURRENCIA DE UNA PRECIPITACIÓN ANUAL NORMAL

Atlas de Frecuencia de Sequías en Tiempo Real

UN NUEVO ÍNDICE PARA EL MONITOREO DE LA SEQUÍA

© Pixabay/Pete Linforth, CCO Creative Commons

LA REUNIÓN DE ALTO NIVEL DE POLÍTICAS NACIONALES SOBRE LA SEQUÍA, CELEBRADA EN GINEBRA EN 2013, al referirse a los "Progresos científicos en los sistemas de alerta temprana y de control de la sequía", reconocía explícitamente que "los adelantos en los sistemas de alerta temprana y de control de la sequía y los sistemas de información, sujetos a la autoridad gubernamental, y el uso de los conocimientos locales y las prácticas tradicionales pueden contribuir a aumentar la resiliencia de la sociedad y a propiciar unas decisiones más sólidas de planificación e inversión, destinadas especialmente a reducir las consecuencias de los efectos de la sequía". Este reconocimiento resulta refrendado en el correspondiente documento científico de la reunión: "Prácticas idóneas en materia de políticas nacionales para la gestión de la sequía", particularmente en lo referido a "Utilizar sistemas eficaces de vigilancia y alerta temprana de la sequía", considerado uno de los cinco elementos clave de una política nacional para la gestión de la sequía. En efecto, tres de los 9 puntos que integran el aspecto de utilización de sistemas eficaces de vigilancia y alerta temprana de la sequía, como práctica idónea, dicen relación con (UNCCD-FAO-WMO, 2013):

i) Evaluar la disponibilidad de herramientas y métodos para las actividades de alerta temprana y de apoyo a la adopción de decisiones, con el fin de ayudar a planificar las medidas de preparación y la elaboración de políticas en relación con la sequía.

ii) Evaluar las capacidades existentes para efectuar proyecciones y predicciones regionales sobre la duración e intensidad de la sequía, mejorar el grado de acierto de dichas predicciones y comunicarlas más eficazmente a los usuarios.

iii) Examinar la necesidad de elaborar productos finales útiles, información o herramientas de apoyo a la adopción de decisiones para su entrega a los usuarios finales.

El Atlas de Frecuencia de Sequías de América Latina y el Caribe, viene a contribuir directamente a dichas prácticas por cuanto permite, por ejemplo, a) "Preparar material de orientación para desarrollar los sistemas de control de la sequía y de información de alerta temprana", unido a la "capacidad de los usuarios y de las instancias normativas para difundir los índices de sequía y su aplicabilidad " (Punto i); b) "Examinar las sequías pasadas y presentes en el contexto de las tendencias y los fenómenos extremos que influyen en su duración e intensidad" (Punto ii) y c) "Desarrollar herramientas adecuadas de apoyo a la adopción de decisiones y productos climatológicos finales que abarquen todos los aspectos de la sequía para ayudar a los usuarios a adoptar decisiones sobre la gestión de riesgos de la sequía" (Punto iii).

Las prestaciones del Atlas de Frecuencia de Sequías presentadas hasta ahora se han vinculado de manera específica con su capacidad de "Examinar sequías pasadas", esto es, con qué frecuencia se han presentado en el territorio de América Latine y el Caribe eventos de sequía meteorológica anual de determinada magnitud. En esta sección, por su parte, se presentará la potencialidad del Atlas de Sequías para ser utilizado como herramienta de monitoreo; esto es, su capacidad para examinar las sequías actuales. Lo anterior, se realizará en el contexto de los denominados Índices de Sequía y su difusión y adopción en países de América Latina y el Caribe, como herramientas de gestión de sequías.

ÍNDICES DE SEQUÍA

Desde el trabajo seminal de Wayne Palmer en 1965 (Palmer, 1965), pasando por el desarrollo del Índice de Precipitación Estandarizada por MacKee *et al* (1993, 1995) en los 90', las sucesivas revisiones de estos índices a inicios de los años 2000 (Wilhite *et al*, 2000; Heim, 2002), hasta las actuales revisiones, evaluaciones, sistematizaciones y recomendaciones (Zargar *et al*, 2011; Hayes *et al*, 2011; WMO, 2012; Núñez *et al*, 2013; Bachmair *et al*, 2016; WMO-WGP, 2016; Carbone, Lu y Brunetti, 2018) mucho se ha escrito sobre los denominados "Indices de Sequía". Los índices de sequía han sido definidos como "representaciones de la severidad de la sequía computadas típicamente de forma numérica" (WMO-WGP, 2016). De acuerdo con WMO, citado por Heim (2002) —en una de las primeras revisiones sobre índices de sequía publicadas— un índice de sequía es "un índice que está relacionado con algunos de los efectos acumulados de un

prolongado y anormal déficit de humedad". Como tal, los índices de sequía son reconocidos como el pilar de los sistemas de monitoreo y alerta temprana de sequías. En efecto, tal como lo plateaba WMO (2006), "Un sistema de monitoreo, alerta temprana y entrega efectivo, rastrea continuamente indicadores clave de la sequía y suministro de agua, así como índices derivados del clima, y entrega esta información a los tomadores de decisión".

Bajo esta premisa, recientemente, WMO-WGP (2016) han sistematizado un largo listado de índices de sequía cuyo propósito es "cubrir algunos de los más comúnmente utilizados indicadores/índices que han sido aplicados a lo largo de regiones vulnerables a la sequía, con el objetivo de contribuir al avance de sistemas de monitoreo, alerta temprana y entrega de información como soporte de políticas de gestión de sequías con base en el análisis de riesgo y planes de preparación".

El propósito mencionado se explica por la importancia que el poder cuantificar las pérdidas y daños está teniendo a partir de la publicación del Reporte de Eventos Extremos del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, 2012) en la implementación de políticas, especialmente las relacionadas con la agenda de la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático. Asimismo, debido a la magnitud de las pérdidas asociadas a desastres, el mejoramiento de los sistemas de monitoreo y gestión de sequías será fundamental para la implementación del Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030 y los Objetivos del Desarrollo Sostenible.

Del largo listado de índices existentes es deseable destacar el Índice de Precipitación Estandarizada (SPI en inglés), que forma parte de los denominados Índices de Sequía Estandarizados. El SPI destaca, entre otros aspectos, por su amplia difusión internacional, avalada por su recomendación en el marco de la Declaración de Lincoln sobre Índices de Sequía, emitida durante el Taller Inter-Regional Organización Meteorológica Mundial-Centro Nacional de Mitigación de Sequías sobre Índices y Sistemas de Alerta temprana de Sequía, celebrado en la Universidad de Nebraska-Lincoln en 2009 (Hayes *et al*, 2011). Dicha recomendación fue considerada por la Organización Meteorológica Mundial quien seguidamente elaboró una Guía de Usuario para la aplicación del Índice de Precipitación Estandarizada en 2012 (WMO, 2012) con la esperanza de "que ayudará a los países e instituciones a entender cómo calcular y utilizar el SPI en orden de desarrollar o mejorar sus propias capacidades de monitoreo y alerta temprana de sequías".

A casi 6 años de dicha recomendación, la adopción de índices estandarizados de sequía— particularmente el SPI— como base del desarrollo de sistemas de monitoreo y alerta temprana de sequías en apoyo a las políticas nacionales de gestión de sequías, ha sido, para el caso de América Latina y el Caribe, al menos dispar. En efecto, durante el Taller Interregional de Lincoln, Sentelhas (2009) presentaba una visión preliminar del uso de los índices de sequía por parte de las agencias nacionales de meteorología e hidrología de Sudamérica. De los 13 casos analizados, sólo en 4 de ellos (Argentina, Brasil, Colombia y Perú) había información respecto del uso de índices estandarizados de sequía, como el SPI). Más aún, solo en 8 de los casos era posible encontrar información disponible públicamente respecto del monitoreo de las condiciones de la precipitación para el monitoreo de la sequía. Una actualización de dicho análisis, a 2018, se presenta en la Tabla 6, la que considera la presencia de algún tipo de índice de sequía así como el uso del SPI con fines informativos y de divulgación de las condiciones de sequía a nivel nacional por parte de los servicios de hidrología y meteorología de algunos países de América Latina y el Caribe, disponible y accesible a través de internet.

© Pixabay/Isabel Perello, CC0 Creative Commons

TABLA 6 USO DE ALGÚN ÍNDICE DE SEQUÍA (ÍNDICE), DEL ÍNDICE DE PRECIPITACIÓN ESTANDARIZADA (SPI) Y FUENTE DE INFORMACIÓN SEGÚN PAÍS EN LA REGIÓN DE AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE. 2018.

PAÍS	ÍNDICE	SPI	INSTITUCIÓN 1	INSTITUCIÓN 2
Antigua y Barbuda			Antigua and Barbuda Meteorological Service	CARICOF
Argentina			Servicio Meteorologico Nacional	CREAN
Bahamas			WMO Caribbean Regional Climate Centre-Caribbean Institute for Meteorology&Hydrology	CARICOF
Barbados			WMO Caribbean Regional Climate Centre-Caribbean Institute for Meteorology&Hydrology	CARICOF
Belice			WMO Caribbean Regional Climate Centre-Caribbean Institute for Meteorology&Hydrology	CARICOF
Bolivia (Estado Plurinacional)				
Brasil			Instituto Nacional de Meteorología	Agencia Nacional del Agua
Islas Caimán			WMO Caribbean Regional Climate Centre-Caribbean Institute for Meteorology&Hydrology	CARICOF
Chile			Dirección Meteorológica de Chile	Seccion Emergencias Agricolas MINAGRI
Colombia			Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM	
Costa Rica				
Cuba			Instituto de Meteorología de la República de Cuba	
Curazao			WMO Caribbean Regional Climate Centre-Caribbean Institute for Meteorology&Hydrology	CARICOF
Dominica			WMO Caribbean Regional Climate Centre-Caribbean Institute for Meteorology&Hydrology	CARICOF
República Dominicana			Oficina Nacional de Meteorología	
Ecuador			Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología	
El Salvador			Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales	
Guyana Francesa			WMO Caribbean Regional Climate Centre-Caribbean Institute for Meteorology&Hydrology	CARICOF
Granada			WMO Caribbean Regional Climate Centre-Caribbean Institute for Meteorology&Hydrology	CARICOF
Guatemala			Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología	
Guyana			WMO Caribbean Regional Climate Centre-Caribbean Institute for Meteorology&Hydrology	CARICOF
Haití			WMO Caribbean Regional Climate Centre-Caribbean Institute for Meteorology&Hydrology	CARICOF
Honduras				
Jamaica			WMO Caribbean Regional Climate Centre-Caribbean Institute for Meteorology&Hydrology	CARICOF
México			Servicio Meteorológico Nacional	
Montserrat			WMO Caribbean Regional Climate Centre-Caribbean Institute for Meteorology&Hydrology	CARICOF
Nicaragua			Instituto Nicaraguense de Estudios Territoriales	
Panamá				
Paraguay			WMO Caribbean Regional Climate Centre-Caribbean Institute for Meteorology&Hydrology	CARICOF
Perú			Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú	
Puerto Rico			WMO Caribbean Regional Climate Centre-Caribbean Institute for Meteorology&Hydrology	CARICOF
San Cristóbal y Nieves			WMO Caribbean Regional Climate Centre-Caribbean Institute for Meteorology&Hydrology	CARICOF
Santa Lucía			WMO Caribbean Regional Climate Centre-Caribbean Institute for Meteorology&Hydrology	CARICOF
San Martin (parte francesa)			WMO Caribbean Regional Climate Centre-Caribbean Institute for Meteorology&Hydrology	CARICOF
San Vicente y Las Granadinas			WMO Caribbean Regional Climate Centre-Caribbean Institute for Meteorology&Hydrology	CARICOF
Isla de San Maarten (parte holandesa)			WMO Caribbean Regional Climate Centre-Caribbean Institute for Meteorology&Hydrology	CARICOF
Surinam			WMO Caribbean Regional Climate Centre-Caribbean Institute for Meteorology&Hydrology	CARICOF
Trinidad y Tobago			WMO Caribbean Regional Climate Centre-Caribbean Institute for Meteorology&Hydrology	CARICOF
Uruguay			Sistema Nacional de Información Agropecuaria	
Venezuela (República Bolivariana)				
Islas Vírgenes (Británica)			WMO Caribbean Regional Climate Centre-Caribbean Institute for Meteorology&Hydrology	
Islas Vírgenes (EEUU)			WMO Caribbean Regional Climate Centre-Caribbean Institute for Meteorology&Hydrology	CARICOF

Verde: Información disponible en internet; **Rojo:** Sin información disponible en internet.

Listado de países y territorios según UNESCO: http://www.unesco.org/new/en/unesco/worldwide/latin-america-and-the-caribbean/

De acuerdo con la Tabla, 37 de un total de 42 (88%) territorios/países analizados, disponen de servicios nacionales vinculados a alguna rama de la meteorología, hidrología, agricultura o energía, que generan o proveen información para la generación de al menos un índice de sequía y en 32 de los 42 (76%) territorios/países analizados, se utiliza al menos el SPI como índice de sequía. Lo anterior muestra que un porcentaje importante de los países de la región disponen de recursos para el monitoreo y alerta temprana de sequías basados en índices de sequía y que, igualmente, un porcentaje importante de dichos sistemas basan el monitoreo de sequías en el uso del Índice de Precipitación Estandarizada.

EL ÍNDICE DE PERIODO DE RETORNO DE LA PRECIPITACIÓN

A pesar de sus múltiples ventajas, que han permitido que el Índice de Precipitación Estandarizada haya sido adoptado de manera significativa en América Latina y el Caribe durante la última década, similar a otras regiones del globo, existen una serie de desventajas en su utilización, las cuales han sido evidenciadas y sistematizadas en diferentes estudios (Wu *et al*, 2007; Núñez *et al*, 2013; Stagge *et al*, 2015; Blain *et al*, 2018). Dos de dichas desventajas se refieren a: a) Dificultad en su interpretación por el usuario final y b) Caracterización incorrecta de la condición de sequías en ambientes áridos y semiáridos.

DIFICULTAD DE INTERPRETACIÓN

Este aspecto dice relación con el punto iii sobre de las prácticas idóneas en la utilización de sistemas de monitoreo y alerta temprana de sequías discutidos previamente. Esto es, en lo referido a "Examinar la necesidad de elaborar productos finales útiles, información o herramientas de apoyo a la adopción de decisiones para su entrega a los usuarios finales". En efecto, el SPI contiene en su formulación y cálculo, una serie de conceptos probabilísticos (modelos de distribución, normalización, categorización) que, si bien son comprensibles para el experto, pueden ser de difícil interpretación para un usuario final. Debido a su carácter de índice estandarizado, una interpretación adecuada del SPI requiere que el usuario final disponga de algún conocimiento básico de conceptos como modelo de distribución, normalización y estandarización, ajuste probabilístico, escala temporal, etc.; lo que hacen del SPI más un índice de naturaleza científica que un índice de sequía "de campo", es decir, resulta "poco intuitivo" a nivel de usuario final. Lo anterior queda de manifiesta en la siguiente explicación respecto del SPI, obtenida de la Guía de Datos Climáticos del Centro Nacional para la Investigación Atmosférica de Estados Unidos, uno de los Centros más prestigiosos a nivel internacional en temas de información climática (NCAR-UCAR, 2018):

"Los datos brutos de precipitación son ajustados típicamente a una distribución Gamma o Pearson Tipo III, y luego transformados a una distribución normal. Los valores de SPI pueden ser interpretados como el número de desviaciones estándar en los que las anomalías observadas se desvían de la media de largo plazo". La anterior descripción, sin embargo, es válida únicamente cuando la precipitación bruta se ajusta a una distribución normal, lo cual no ocurre en la generalidad de los casos en que la precipitación es medida en periodos cortos de tiempo y especialmente en regiones (semi)áridas, que representan cerca del 35.5% de la Región de América Latina y el Caribe.

INTERPRETACIÓN DE LA CONDICIÓN DE SEQUÍAS EN AMBIENTES ÁRIDOS Y SEMIÁRIDOS

Una de las principales limitaciones del uso del SPI en regiones (semi)áridas está relacionado con un corto periodo de precipitaciones y una estación seca pronunciada. Esta condición genera el no cumplimiento del supuesto de normalidad en el proceso de transformación de la precipitación bruta en su versión estandarizada, lo cual ha sido evidenciado en distintos estudios (Wu *et al*, 2007; Stagge *et al*, 2015; Blain *et al*, 2018). Como bien señala Blain (2012; 2015), para estos casos, la transformación equiprobable de la distribución de la precipitación no es alcanzada y, consecuentemente, no existen garantías de que el SPI sea capaz de representar adecuadamente los déficits o excesos de precipitación. Uno de los efectos señalados se presenta cuando el registro de precipitación es positivamente sesgado, lo que es común en condiciones áridas o la estación seca y/o para periodos cortos de tiempo. En estas condiciones, se

reconoce que el modelo de distribución de probabilidad tiene sesgo positivo (cola hacia la derecha) y además, la media es mayor que la mediana (percentil 50%). De la definición de SPI, cualquier observación superior a la mediana (cuantil 0.5), debería estar asociada a un valor positivo de SPI indicando ausencia de sequía. Sin embargo, para todos aquellos valores superiores a la mediana, pero inferiores a la media, el SPI también indicará un valor positivo (ausencia de sequía) lo que resulta contradictorio cuando la media representa, justamente, la denominada condición normal. Este aspecto, que no ha sido abordado suficientemente por los especialistas, genera un importante problema de interpretación de las condiciones de sequía, especialmente en los casos en que, de manera oficial y conceptual, la sequía es entendida como un déficit respecto de las condiciones medias, normales o, desde un punto estadístico, promedio. Igualmente es esperable la ocurrencia de contradicciones entre indicadores usados por un mismo servicio, o entre servicios públicos distintos con competencia normativa en la declaración oficial de condiciones de sequía, cuando esta decisión se basa en uso de índices de sequía de diferente naturaleza. En regímenes áridos es esperable, por ejemplo, que en épocas próximas al periodo seco, o en intervalos de tiempo corto, la media de la precipitación sea bastante superior (percentil 60-70) a la mediana (percentil 50). Esto implica que para un 10-20% de los casos, el SPI indicará la ausencia de sequía al tener signo positivo, a pesar de que, en dichos casos, existirá un déficit respecto de las condiciones promedio. Este hecho afecta directamente la interpretabilidad del SPI en dichas condiciones, así como la capacidad de monitoreo y alerta temprana de sequías, afectando de esta forma al sistema de gestión de sequías y dificultando la adecuada toma de decisiones por parte de los gestionadores de sequía.

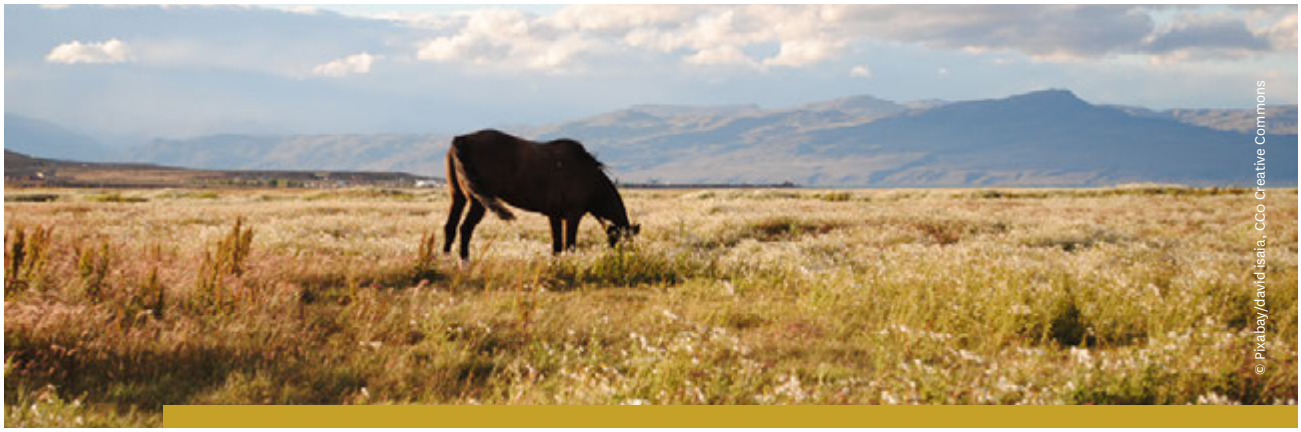
El Atlas de Frecuencia de Sequías, utilizado como herramienta para el monitoreo de sequías en tiempo real y denominado en este apartado Índice de Periodo de Retorno de Sequías, permite abordar adecuadamente las dos limitaciones descritas en esta sección.

DESCRIPCIÓN DEL ÍNDICE DE PERIODO DE RETORNO DE SEQUÍAS

El Periodo de Retorno (ver glosario) ha sido definido de la siguiente forma: El período de retorno T de un nivel dado es el promedio del número de años en que se espera un único fenómeno igual o superior. El período de retorno es igual al valor inverso de la probabilidad de excedencia durante un único año (OMM-N°168, v2).

El Atlas de Frecuencia de Sequías de América Latina y el Caribe, en su versión inicial, estima tanto la cantidad de lluvia esperada asociada a un determinado nivel de probabilidad, así como el Periodo de Retorno asociado a un determinado déficit de precipitación. Esta capacidad se extiende, para el presente Índice, de modo de calcular el Periodo de Retorno asociado a un monto de precipitación actual de interés.

El concepto de Periodo de Retorno fue introducido en hidráulica por Weston Fuller a inicios del siglo XX (Fuller, 1914). Fue luego rigurosamente analizado por el matemático germánico y pionero en el desarrollo de la teoría de valor extremo Emil Julius Gumbel (Gumbel, 1941) y ha sido recientemente objetivo de nuevas discusiones a propósito de los 100 años de su creación (Fernández y Salas, 1999a; 1999b; Volpi *et al*, 2015).


© Pixabay/david-sara, CCo Creative Commons

En términos simples, el Periodo de Retorno, en este trabajo, se refiere a cada cuantos años, en promedio, se produce en el lugar analizado, un evento de las características ocurridas actualmente. Las características actuales corresponden al periodo que se está analizando que, para efectos operacionales, corresponden a los periodos de precipitación acumulada desde Enero a Diciembre. Debido a que el periodo de tiempo no excede del periodo anual, no resulta necesario incorporar otras consideraciones en su aplicación, como las de la duración multianual, tal como ha sido analizado a propósito de las sequías extensas por Fernández y Salas (1999a; 1999b). Por otra parte, en distintas aplicaciones resulta de interés, para el gestionador de sequías, únicamente una interpretación respecto del avance de la temporada anual, mes a mes, condición para la cual el Índice de Periodo de Retorno resulta apropiado.

A continuación se presenta brevemente el procedimiento de cálculo y un ejemplo de aplicación al análisis de las condiciones de sequía en Chile continental durante el avance de la temporada 2018.

Procedimiento de cálculo:

El procedimiento de cálculo del Índice de Periodo de Retorno es aquel descrito en esta publicación y en Núñez *et al* (2011a; 2011b;2016) a propósito del Atlas de Frecuencia de Sequías mediante el Análisis Regional de Frecuencias de la Precipitación basado en L-momentos. Este procedimiento se sintetiza en:

a) Colección, revisión y análisis de calidad de los datos de la precipitación

b) Identificación y aceptación de regiones homogéneas de probabilidad

c) Selección del modelo de frecuencias regional, considerando los siguientes modelos de distribución de probabilidad: GEV, GNO, GLO, GPAR, PE3 y Gaucho.

d) Estimación de los parámetros de la distribución regional y estimación de la frecuencia de la precipitación acumulada en la temporada hasta el mes de interés. El modelo de distribución ajustado corresponde a un modelo mixto para enfrentar la presencia de valores cero, de la forma propuesta recientemente por Stagge *et al* (2015).

e) Cálculo del Índice de Periodo de Retorno (IPR): El IPR toma el valor negativo cuando la condición actual es inferior respecto del promedio y positivo en caso contrario.

f) Mapeo del Índice de Periodo de Retorno mediante el procedimiento de interpolación conocido como Inverso a la Distancia el que resulta suficientemente adecuado para la escala de trabajo, por cuanto el análisis considera sólo un total de 54 estaciones oficiales administradas por la Dirección Meteorológica de Chile para todo el territorio nacional.

EJEMPLO DE APLICACIÓN DEL ÍNDICE DE PERIODO DE RETORNO

A modo de ejemplo, se presenta a continuación la aplicación del Índice de Periodo de Retorno (IPR) para el análisis de la recurrencia de la precipitación en Chile continental durante el avance de la temporada 2018. La Figura 59 muestra, consecuentemente, el mapa de IPR para la precipitación acumulada, desde inicio de año, hasta Enero, Febrero, Marzo, Abril y Mayo, respectivamente.

Los dos primeros mapas muestran una condición general levemente seca a lo largo de Chile, con una recurrencia entre 1 y 10 años. Destaca el extremo Norte de Chile, límite con Perú, donde se aprecia una condición moderadamente seca en Enero (periodo de lluvias en esa zona) reflejado en un IPR entre 12.5 y 50 años. Esta condición emerge luego en la Región de Aysén, hacia el mes de Febrero y en parte de la zona cordillerana de la Región de Valparaíso.

Finalizado el mes de Marzo, una gran extensión de la zona norte del país, desde la Región Metropolitana hasta el extremo norte aún presentaba déficits de precipitación respecto del promedio, de características levemente secas (IPR entre 1 y 10 años), lo mismo que en las regiones de Magallanes y parte de la Región de Aysén. En cambio, la zona Centro y Centro-Sur del país presentó un leve superávit de las precipitaciones acumuladas hasta Marzo, con una recurrencia de entre 1 y 10 años. Una situación particular se presentó en la Región de Los Ríos, para la cual el superávit para esta fecha presenta una recurrencia entre 12.5 y 50 años.

Para fines del mes de Abril, las condiciones generales son similares a las de Marzo, excepto que la Región de Aysén presenta un nivel de acumulación de precipitaciones que ya representa condiciones de superávit aunque leve, con recurrencias que van entre 1 y 10 años. Se aprecia, a su vez, que al interior de las regiones de Valparaíso y Metropolita, se intensifican las condiciones de déficit de la precipitación, con una recurrencia que va entre los 12,5 y 50 años.

Hacia fines del mes de Mayo, las condiciones generales empiezan a cambiar respecto del mes anterior. El área con superávit se reduce en la zona central del país y emergen en parte de la Región de Magallanes. Condiciones de déficit leve aparecen en el extremo sur del país, en la Región de Aysén, y condiciones dentro de la recurrencia media en parte de las regiones de Magallanes y de Los Lagos. Destaca, por su parte, una intensificación de las condiciones de déficit con recurrencias entre 12,5 y 50 años en gran parte de la región Metropolitana así como en parte de la Región de Coquimbo.

En este punto es importante destacar un aspecto de la estimación del IRP respecto del uso del Índice de Precipitación Estandarizada. En primer lugar, el IPR permite ir realizando un seguimiento al avance de la temporada de las precipitaciones mes a mes. El SPI permite hace un monitoreo de las condiciones de la precipitación en función de la escala temporal utilizada. Debido a que habitualmente las escalas del SPI son múltiplos de 3, acumulaciones para 2 o 4 meses, por ejemplo, no se ven incluidas en las salidas de SPI, al menos aquellas utilizadas oficialmente en Chile. En segundo lugar, el IPR considera el análisis de la recurrencia del déficit respecto del promedio histórico, por lo que resulta consistente con otros productos utilizados en Chile para el monitoreo de las condiciones de la precipitación, tales como los boletines elaborados por la Dirección Meteorológica de Chile o la Dirección General de Aguas. El SPI, en cambio, especialmente para las épocas secas, escala mensual al inicio de la temporada de precipitaciones o regiones áridas, presenta el problema de que, debido a la alta asimetría en el modelo de probabilidad de las precipitaciones, el punto de corte entre la condición seca y húmeda no es coincidente con el concepto de déficit/superávit, respecto del promedio, tal como fue explicado en la sección anterior. Ello implica entonces la posibilidad de contradicción entre distintos instrumentos utilizados de manera oficial para el seguimiento de las condiciones de sequía en el territorio nacional. El IPR resulta, en este sentido, consistente e igualmente informativo sobre la intensidad del déficit/superávit, así como una interpretación más intuitiva.

De este modo, el análisis realizada en este ejemplo de aplicación, permite confirmar lo señalado al inicio de la presente sección, en el sentido de que el Atlas de Frecuencia de Sequías de América Latina y el Caribe y su documentación acá presentada, tanto en su versión de análisis de sequías históricas como en el seguimiento de las condiciones actuales de la precipitación, viene a contribuir directamente a las mejores prácticas para la utilización de sistemas eficaces de vigilancia y alerta temprana de la sequía por cuanto, como se ha demostrado, permite al analista y tomador de decisión: a) Disponer de “material de orientación para desarrollar los sistemas de control de la sequía y de información de alerta temprana”, unido a la “capacidad de los usuarios y de las instancias normativas para difundir los índices de sequía y su aplicabilidad “; b) “Examinar las sequías pasadas y presentes en el contexto de las tendencias y los fenómenos extremos que influyen en su duración e intensidad” y c) Disponer de “herramientas adecuadas de apoyo a la adopción de decisiones y productos climatológicos finales que abarquen todos los aspectos de la sequía para ayudar a los usuarios a adoptar decisiones sobre la gestión de riesgos de la sequía”.

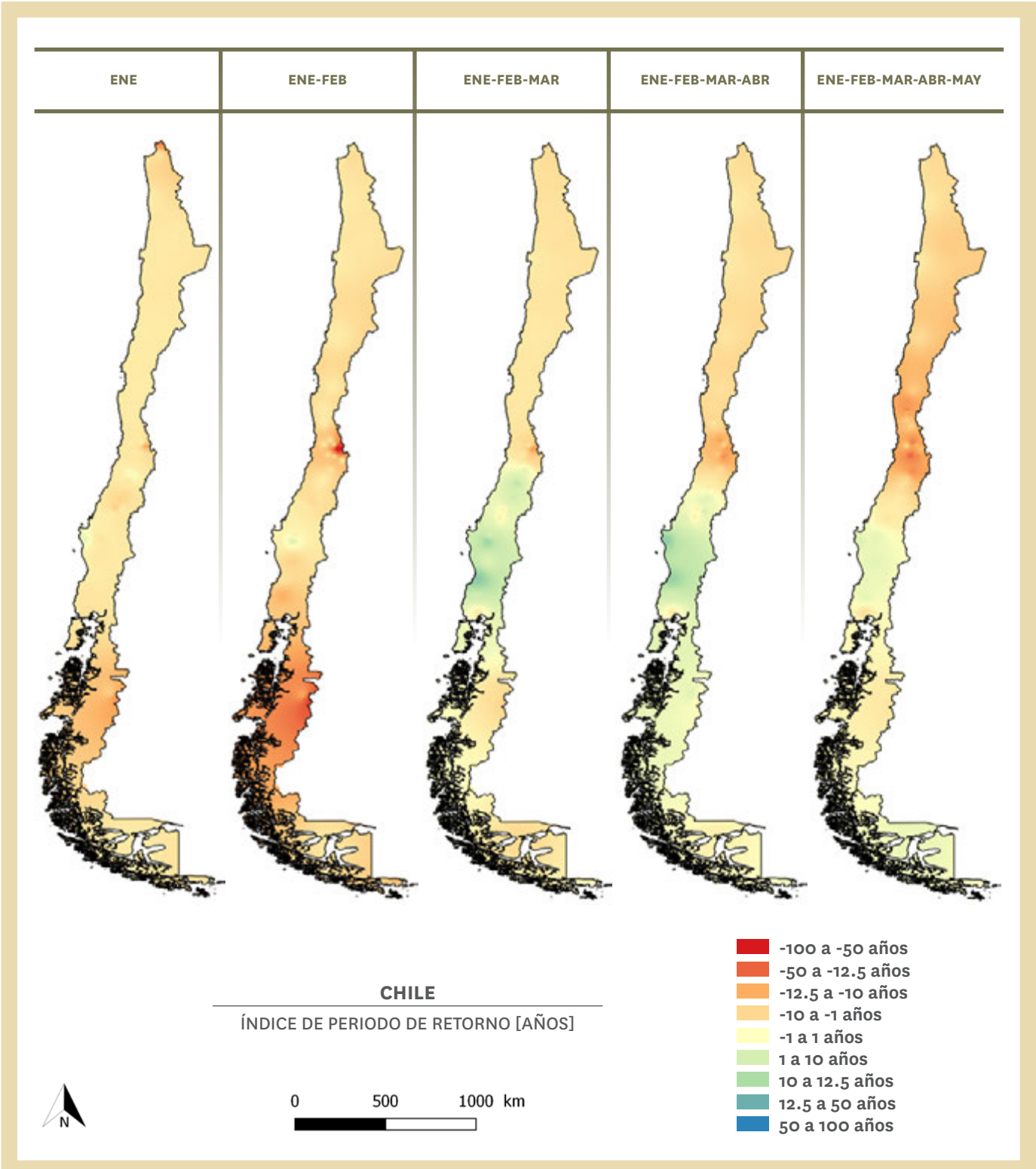


FIGURA 58.

Índice de Periodo de Retorno de la precipitación acumulada mensual según avance de la temporada.

Bases técnicas para el Análisis Regional de Frecuencia de la Precipitación

BASES CONCEPTUALES DEL ANÁLISIS PROBABILÍSTICO EN HIDROLOGÍA

© Pixabay/charlesricardo, CCo Creative Commons

SUPONGA QUE SE ESTÁ INTERESADO EN RESPONDER A LA PREGUNTA: ¿CON QUÉ FRECUENCIA O CADA cuantos años es posible esperar una sequía meteorológica tan severa, como aquella consistente en una precipitación anual menor o igual al 40% de la esperada en un año considerado normal? Responder a esta pregunta requiere, desde una aproximación hidrológico-probabilística, estimar el periodo de retorno asociado al evento especificado, basado en una serie histórica de registros de precipitación anual para el sitio o área de estudio, los cuales habitualmente consistirán en datos registrados en una estación meteorológica.

Suponga, además, que las observaciones que se dispone, se realizan en un intervalo de tiempo regular en un punto de interés. Sea entonces "Q" la magnitud del evento que ocurre en el tiempo y en este sitio específico. Se dice que Q es una cantidad aleatoria (una variable aleatoria, que para el ejemplo, correspondería a la magnitud de la precipitación anual, que puede tomar un valor potencial entre 0 y el infinito). La cantidad fundamental del análisis de frecuencia estadística convencional es la distribución de frecuencia, que especifica cuan frecuentemente ocurren los posibles valores de Q.

Denótese a continuación por F(x), la probabilidad de que el valor actual de Q sea menor o igual a un determinado valor x:

$$\mathbf{F(x)=Prob[Q < x]}$$

F(x) corresponde a la función de distribución de probabilidad acumulada de la distribución de frecuencia. Por otro lado, la función inversa de F(x) corresponde a x(F), que es conocida como la función cuantílica de la distribución de frecuencia y expresa la magnitud de un determinado evento (la precipitación acumulada en un año cualquiera, en nuestro ejemplo) en términos de su probabilidad de no excedencia F.

Se define, entonces, el periodo de retorno (T), como el valor esperado del intervalo entre ocurrencias promedio de eventos que exceden o igualan una magnitud especificada de la variable aleatoria X. Entonces, un cuantil con periodo de retorno T, QT, es un evento de magnitud tan extrema, que tiene una probabilidad 1/T de ser excedido por cualquier evento específico.

Para un evento extremo alto, es decir, ubicado en la cola superior de la distribución de frecuencias, QT está dado por:

$$\mathbf{QT = x(1-1/T)}$$

y

$$\mathbf{F(Qt)= 1 – 1/T}$$

Mientras que para un evento extremo bajo, ubicado en la cola inferior de la distribución de frecuencias (caso de las sequías), las relaciones correspondientes son:

$$\mathbf{QT = X(1/T)}$$

y

$$\mathbf{F(QT) = 1/T}$$

En este contexto, el objetivo del análisis de frecuencia, es justamente obtener una estimación del cuantil QT para un periodo de retorno relevante para el problema en cuestión. Más comúnmente, sin embargo, el objetivo puede ser el estimar QT para un rango de periodos de retorno, o mejor aún, estimar la función cuantílica completa (Hosking y Wallis, 1997).

Si bien las expresiones presentadas previamente parecen simples en su formulación, presentan un inconveniente muy frecuente para su adecuada utilización. Si para el sitio de interés se tiene disponible una serie de datos (para nuestro caso de ejemplo, una serie de datos de precipitación anual), entonces los datos representan una muestra de los posibles valores de QT. Ahora, se concibe, generalmente, que un

cuantil con periodo de retorno T puede ser estimado de manera confiable a partir de un registro de longitud N solamente si T<N (Hosking y Wallis, 1997). Sin embargo, en la gran mayoría de las situaciones prácticas de interés en ingeniería hidráulica o toma de decisiones relacionadas con la gestión de riesgos climáticos, esta condición casi nunca se satisface, debido, por un lado, a que habitualmente N< 50 (especialmente en países de América Latina no se dispone de registros de larga extensión), y por otro lado, a que T=100 o incluso mayor (se considera que las sequías de mayor impacto son las que se dan, en promedio, cada 100 años).

Para enfrentar este problema se han desarrollado diversas aproximaciones. Tal vez la más utilizada es la de disponer de mayor información a través de un tratamiento probabilístico de los datos. Es decir, suponer que la serie de datos que tenemos disponibles representan una muestra perteneciente a una variable aleatoria X, la cual proviene de una población que posee una cierta distribución probabilística que puede ser representada en términos matemáticos y estadísticos por algún tipo de modelo o función de probabilidad.

En este contexto, el analista debe resolver dos cuestiones básicas en esta aproximación, para enfrentar el problema de realizar inferencias cuando el periodo de retorno es bastante mayor a la longitud de registros que tiene disponibles:

1) establecer en primer lugar el tipo de modelo que permite caracterizar adecuadamente la función de distribución de probabilidad y

2) definir el procedimiento más adecuado para determinar las características del modelo que mejor representa esa distribución de probabilidad a partir de la serie de datos disponibles, esto es, seleccionar el modelo y sus parámetros. A continuación se presentará una breve revisión de ambos aspectos.

MODELOS DE FUNCIONES DE DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD

Una distribución de probabilidad es una función que representa la probabilidad de ocurrencia de una variable aleatoria. Esta función o modelo, ajustado a un conjunto de datos hidrometeorológicos, como la precipitación anual, por ejemplo, permite que una gran cantidad de información probabilística presente en la muestra, pueda resumirse de forma compacta en la propia función y sus parámetros asociados (Chow *et al.*, 1994).

Si bien existe una enorme cantidad de funciones de distribución de probabilidad (por ejemplo, Leemis y McQueston (2008) presentan relaciones de 76 distribuciones de probabilidad bivariada, 19 discretas y 57 continuas, indicando, además, que no están incluidas todas las que existen), sólo algunas de ellas han sido utilizadas para describir la probabilidad de ocurrencia de eventos hidrológicos.

La Tabla 7 presenta algunas de las distribuciones más comúnmente utilizadas en el análisis de frecuencia de este tipo de variables. Prácticamente todas las distribuciones de variables aleatorias en hidrología, como las presentadas en la Tabla 7, son de naturaleza empírica, obtenidas de un número limitado de datos. Se debe tener presente, además, que una distribución de probabilidad determinada, no necesariamente se aplica por igual a diferentes series de datos, ya sean de caudal o de precipitaciones.

Si bien las funciones de densidad de probabilidad presentadas en la Tabla han sido utilizadas por años por los hidrólogos, ingenieros hidráulicos y profesionales que requieren aplicar el análisis probabilístico en sus ámbitos de acción, en los últimos años se ha demostrado que la mayor parte de ellas no son más que casos particulares de funciones de distribución más generales. Han aparecido, de este modo, nuevos modelos de distribución que se han probado como mucho más flexibles que las funciones convencionales.

Entre estas destacan las distribuciones Pareto Generalizada, Generalizada de Valor Extremo, Logística Generalizada, Lognormal, Kappa y Wakeby, cuyas formulaciones se presentan en la Tabla 8.

TABLA 7 MODELOS DE DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD MÁS COMÚNMENTE UTILIZADOS EN HIDROLOGÍA PROBABILÍSTICA.
FUENTE: STEDINGER *ET AL* (1993); CHOW *ET AL* (1994); VARAS Y BOIS (1998).

NOMBRE DE LA DISTRIBUCIÓN	SIGLA	Nº DE PARÁMETROS
Uniforme	UNI	2
Normal	NOR	2
LogNormal	LN3	2
Gamma	GAM	2
Exponencial	EXP	2
Gumbel	GUM	2

TABLA 8 MODELOS GENERALIZADOS DE FUNCIONES DE DENSIDAD DE PROBABILIDAD.
FUENTE: HOSKING Y WALLIS (1997).

NOMBRE DE LA DISTRIBUCIÓN	SIGLA	Nº DE PARÁMETROS
D. Generalizada de Valor Externo	GEV	3
D. Logística Generalizada	NOR	3
D. Generalizada Normal	GNO	3
D. Generalizada de Pareto	GPA	3
D. Perason Tipo III	PE3	3
D. Kappa	KAP	4
D. Wakeby	WAK	5

MÉTODOS DE ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS

Frente a la dificultad de realizar estimaciones confiables de periodos de retorno de eventos hidrometeorológicos basados en registros en los que comúnmente T<N, los hidrólogos y evaluadores habitualmente intentan ajustar una serie de datos a un modelo probabilístico que permita explicar la naturaleza estocástica del evento en estudio. Sin embargo, estos modelos, ya sean de naturaleza discreta o continua, dependen para su especificación de una serie de parámetros, los cuales deben ser estimados a partir de la muestra. Se entiende, como parámetros, aquellas características propias de la población, cuya distribución de probabilidad puede ser representada por una función de distribución.

Este concepto marca la diferencia con el de estadísticas, las cuales representan valores calculados a partir de la muestra y resumen sus características más importantes.

Desde el punto de vista matemático, en la medida que una distribución tiene un mayor número de parámetros, es más flexible para ajustar a una serie de observaciones. Pero este aumento en el número de parámetros debe ser un compromiso entre flexibilidad y confiabilidad en la estimación de los mismos. Cuando la distribución tiene pocos parámetros, tal como lo señalan Fattorelli y Fernández (2008), la función no será flexible al ajuste, pero si el número de parámetros aumenta, la estimación de algunos de ellos será poco confiable, especialmente al usar métodos convencionales de estimación.

Algunos de los métodos de estimación de parámetros que se han utilizado habitualmente en el análisis de frecuencias hidrológicas son el método de los momentos, el método de máxima verosimilitud, el procedimiento de mínimos cuadrados, métodos de los momentos ponderados por probabilidad, el método de los L-momentos, la estimación bayesiana, el método de máxima entropía y los métodos multicriterio, entre varios otros (Loukas&Vasiliades, 2004; Varas%Bois, 1998; Kottegoda y Rosso, 2008; Shabri y Jemain, 2006).

De acuerdo con Loucks y Van Beeck (2005), diversos autores indican que los métodos de regionalización basados en L-momentos, son superiores a los métodos basados en los momentos convencionales, de amplia utilización en hidrología. Además, los primeros han probado ser muy útiles en la construcción de pruebas de bondad de ajuste, medidas de homogeneidad regional y métodos de selección de distribuciones.

Por otro lado, Dupuis y Winchester (2000) presentan evidencia que indica que el método de los L-momentos poseen equivalente o, incluso, mejores propiedades de estimación que el método de máxima verosimilitud, en un espacio de estimación en la que se ubica la mayor parte de los modelos de probabilidad de mayor uso en hidrología probabilística.

EL MÉTODO DE LOS L-MOMENTOS

Los L-momentos son un sistema alternativo para describir la forma de una distribución de probabilidad. Estadísticamente, los L-momentos son combinaciones lineales de las observaciones ordenadas obtenidas mediante los momentos ponderados por probabilidad (una generalización de los momentos convencionales), y por lo tanto, no implican elevaciones de los cuantiles en sucesivas potencias de orden superior, como en el caso del método producto-momento, haciéndolos mucho menos sensibles a la presencia de valores atípicos. Debido a esto, los estimadores L-momento de los coeficientes de variación y de asimetría adimensionales son casi insesgados, y tienen una distribución casi normal.

En cambio, los coeficientes de variación y asimetría estimados por los momentos convencionales son sesgados y altamente variables en muestras pequeñas. Además, los estimadores obtenidos mediante producto-momento presentan límites algebraicos dependientes del tamaño de la muestra, y en muchas muestras pequeñas o moderadas, es inusual para las estimaciones de asimetría y curtosis presentar valores siquiera cercanos al verdadero valor poblacional. De este modo, para un amplio rango de aplicaciones

hidrológicas, especialmente aquellas relacionadas con tamaños de muestras pequeñas, los L-momentos proveen de manera simple y razonable, estimadores eficientes de las características hidrológicas de los datos y de los parámetros de una gran variedad de distribuciones (Hosking y Wallis, 1996; Stedinger, 1993).

A modo de ejemplo, la Figura 59 presenta el efecto que la longitud de registro tiene sobre la variabilidad y límite superior de la estimación del coeficiente de variación convencional (CV) para una distribución de probabilidad de amplio uso en hidrología, la que además presenta propiedades estadísticas previamente definidas. El CV presenta un límite algebraico en su cálculo que es función directa de la raíz cuadrada del tamaño de registro utilizado para su estimación. Resulta claro, de la figura, que para longitudes de registro menores a 50 (común a las bases de datos de la Región), las estimaciones del CV subestiman el valor real de la variabilidad relativa de los datos.

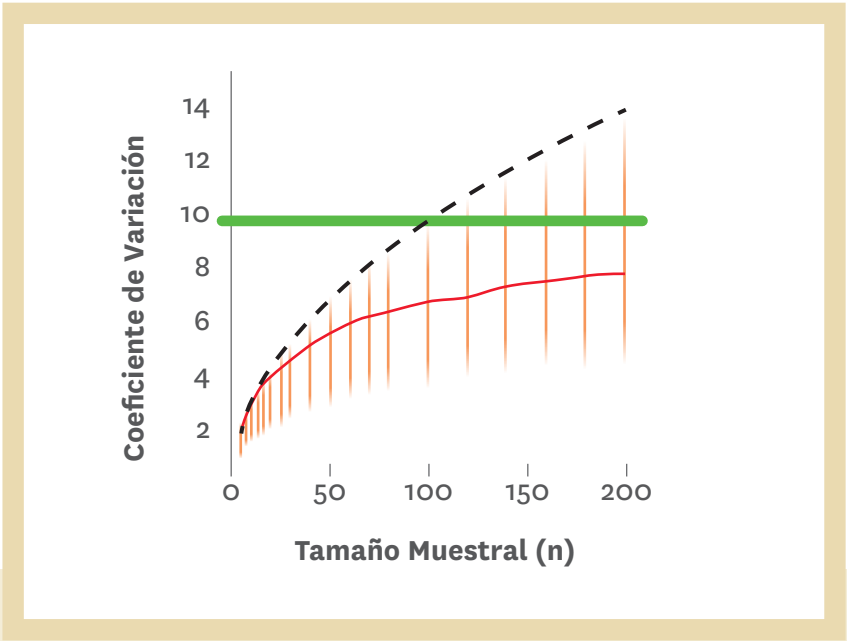


FIGURA 59.

Estimación del Coeficiente de Variación para distintos tamaños muestrales (longitud de registro). La línea verde indica el valor verdadero. La línea negra indica el máximo valor estimado. La línea roja indica el valor promedio de coeficiente de variación estimado. Las muestras se obtienen a partir de una distribución gamma con media=3000 y desviación estandar=30.000 por lo cual el coeficiente de variación verdadero es de 10.

ANÁLISIS REGIONAL DE FRECUENCIAS BASADO EN L-MOMENTOS

En lugares con registros extensos, las estimaciones de cuantiles de variables hidrológicas, pueden realizarse mediante el ajuste de una función de distribución a los datos. Sin embargo, cuando no existen o se dispone de muy pocos registros en algún lugar de interés, las estimaciones deben basarse en información regional (Buishand, 1991). De hecho, en una reciente revisión de los procedimientos de análisis de frecuencia de la precipitación utilizados en diversos países, Svensson y Jones (2010) señalan a los métodos regionales como un denominador común en este tipo de análisis. Uno de los métodos regionales más ampliamente utilizado es el denominado Indice de Avenida, particularmente aquel basado en los L-momentos o sus precursores, los momentos ponderados por probabilidad, siendo considerado como el que genera las mejores estimaciones (Norbiato *et al*, 2007; Louks y Van Beek, 2005).

El Análisis Regional de Frecuencias (ARF) del tipo Índice de Avenida, basado en la aplicación de los L-momentos (ARF-LM), tiene su origen en el estudio de crecidas, siendo utilizado en mayor medida en el análisis de éstos eventos y el de precipitaciones máximas (Loucks y Van Beek, 2005; Schaefer *et al*., 2007; Schaefer *et al*., 2006; Norbiato *et al*., 2007).

En el caso específico de análisis de sequías, esta metodología se ha aplicado al estudio de las variables meteorológicas e hidrológicas, tal como en la elaboración del Atlas de Sequía de EEUU (IWR, 2008), análisis de sequías en el noroeste de México (Hallack-Alegria y Watkins, 2007, Hallack-Alegría *et al*, 2010), análisis de sequías en Turquía (Yurekli y Anli, 2008) y Zambia (Kaluba *et al*, 2016) y en comparación con otras alternativas de regionalización en el estudio de sequías en Europa (Tallaksen y Hisdal, 1999).

La esencia del ARF-LM es que los datos provenientes de sitios dentro de una región homogénea, pueden ser agregados para mejorar la precisión en las estimaciones de la relación probabilidad-cuantil en todos los sitios (Wallis *et al*., 2007). De esta manera se compensa la falta de información en registros cortos en cada sitio, por la abundancia de información en el espacio (Loucks y Van Beek, 2005).

El procedimiento asume que los sitios dentro de una "región homogénea" presentan una distribución de frecuencias similar, excepto por un factor de escala específico para el sitio, representado por la media del sitio de la variable analizada (Norbiato *et al*., 2007; Hosking y Wallis, 1996). El ARF-LM puede escribirse como:

$$Q_i(F)=\mu_i q(F) \quad , i=1,\ldots N$$

Donde, m es el Índice de Avenida. Este representa la media de la distribución de frecuencia del sitio, aunque puede ser utilizado cualquier otro parámetro de localización, en su lugar.

Por su parte, el factor q(F), es la curva de crecimiento regional, una función cuantílica adimensional común a todos los sitios dentro de la región homogénea y representa la función cuantílica de la distribución regional de frecuencias (Hosking y Wallis, 1997).

Los cuantiles para cada sitio pueden ser estimados, justamente a partir de la relación entre el valor estimado de ûi, correspondiente a la media de los datos observados en el sitio, y (F), la curva de crecimiento regional estimada, para 0< F< 1. Es decir, la función cuantílica estimada en el sitio i, depende de la media estimada en el sitio i y de la curva de crecimiento regional estimada.

Una forma de presentar las ventajas que tiene el análisis regional de frecuencias basado en L-momentos es a través de una comparación de sus capacidades de estimación respecto del procedimiento convencional de tipo in situ. Para ello, considérese el siguiente ejemplo de aplicación:

En la Figura 60(a, b, c y d) se presentan 4 casos de muestras de tamaño 15 (asuma, por ejemplo, que esto corresponde a cuatro estaciones que tienen 15 años de registro de precipitación anual cada una). Junto a cada muestra se traza la línea recta de mejor ajuste a dichos datos. Igualmente, se presenta la línea recta de la distribución parental que dio origen a los datos, la que, para este ejemplo, corresponde a una distribución de Valor Extremo Tipo I o Gumbel.

Se aprecia que, dependiendo de la muestra, los ajustes finales pueden ser muy distintos, llevando a estimaciones muy diferentes, especialmente de los cuantiles ubicados en puntos extremos, o las denominadas colas de la distribución. Pero son justamente estos puntos o eventos extremos los que, ya sea en términos de sequías si están en la cola inferior o exceso, si están en la cola superior, causan mayor impacto y por lo tanto, se espera estimar con la mayor precisión posible.

Considérese, ahora, el mismo ejercicio, pero esta vez mediante la aplicación del procedimiento Análisis Regional de Frecuencias basado en L-momentos. Para la misma distribución parental (Gumbel), la Figura 60e y Figura 60f presenta el ajuste obtenido, también con 15 años de registro, pero esta vez agregando

los registros de 5 (e) y 20 (f) estaciones, cada una con la longitud de registro tamaño 15. Se aprecia de inmediato el efecto de agregación sobre el ajuste de los datos observados a la distribución de probabilidad parental.

Esta es la razón fundamental por la cual el Análisis Regional de Frecuencias basado en L-momentos es un procedimiento robusto para el ajuste de distribuciones de probabilidad, razón por la cual se ha convertido en el método estándar para análisis de frecuencia hidrológica en varios países (Svensson y Jones, 2010). En palabras de Hosking y Wallis (1997), lo que el procedimiento viene a hacer es compensar la carencia de información en el tiempo por su abundancia en el espacio.

A ello se agrega otra ventaja: los modelos de distribución de probabilidad utilizados por este procedimiento no son los modelos convencionales utilizados en la hidrología probabilística (Tabla 7), sino que modelos de distribución general, basados en 3 o más parámetros (Tabla) lo que los dota, en términos de capacidad de ajuste a los datos observados, de mayor flexibilidad. Esta flexibilidad, que determina que distribuciones como la Kappa de 4 parámetros (Hosking, 1994; Finney, 2004) sea una función general de la cual derivan no menos de 7 tipos distintos de distribución ampliamente utilizados en hidrología, es muy bien aprovechada por las propiedades de los L-momentos.

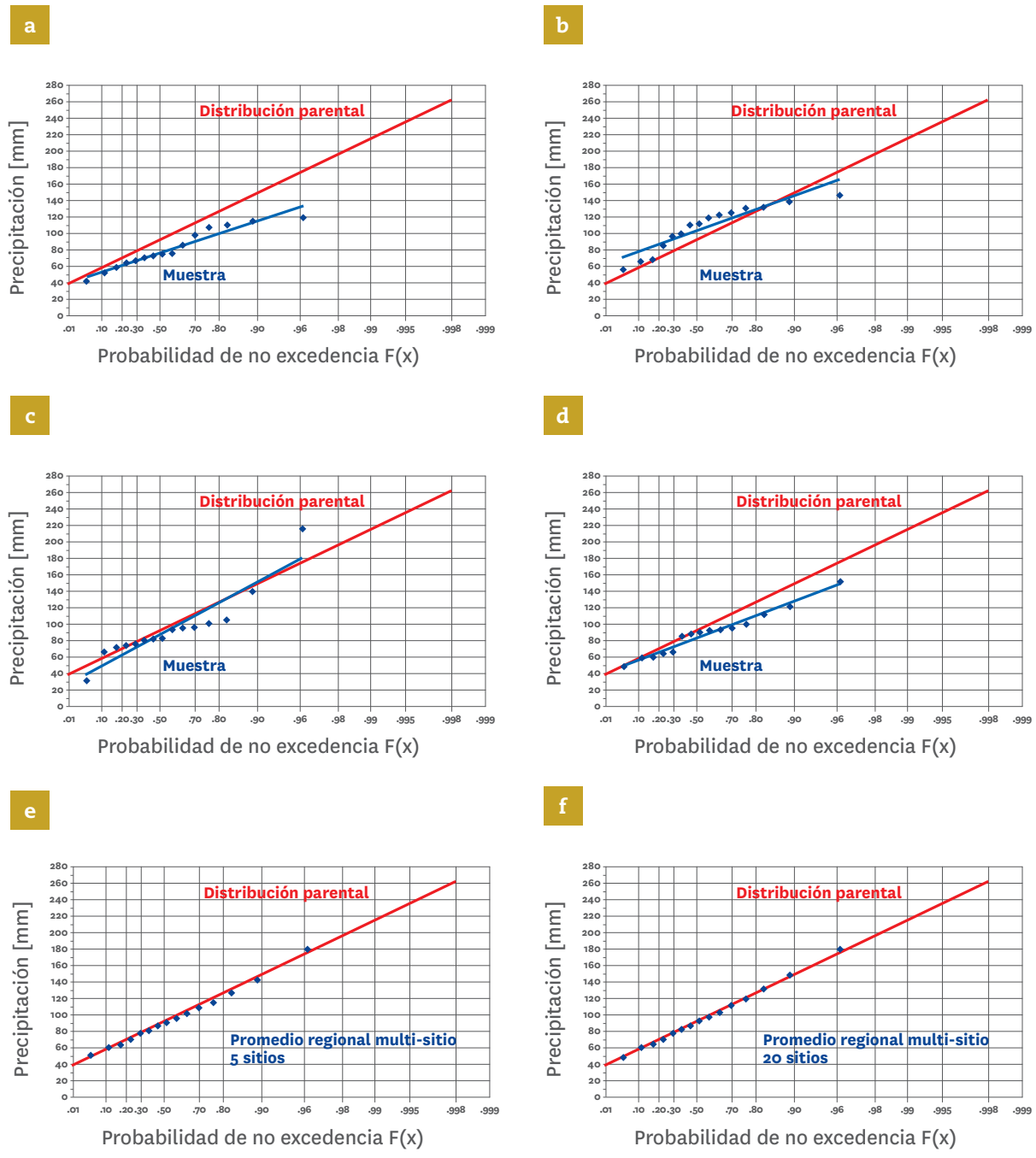


FIGURA 60.

Ajuste de distribución para 4 muestras de 15 datos cada una, todas provenientes todas de una distribución de Valor Extremo TIpo I o Gumbel. La distribución parental (línea roja) se predefine con media 100, L-CV=0.4 y L-Asimetría=0.22. Se muestran cuatro casos (a,b,c,d) donde el ajuste (línea azul) se realiza de forma independiente para cada una de las muestras (puntos azules). También se muestran los casos en que el ajuste se realiza agregando 5 (e) y 20(f) muestras bajo un enfoque de análisis regional de frecuencias basado en L-momentos. Todos los gráficos se presentan sobre papel de probabilidad Gumbel.

MODELO DE 5 ETAPAS DEL ANÁLISIS REGIONAL DE FRECUENCIAS CON L-MOMENTOS

La implementación del ARF-LM considera 5 etapas, las cuales consisten en (Hosking y Wallis, 1997; Wallis *et al*., 2007 y Schaefer *et al*., 2007; UNESCO, 2010):

1) Revisión y preparación de los datos: Esta etapa tiene como propósito realizar un exhaustivo control de calidad de los datos, detectar datos erróneos y chequear el cumplimiento de los supuestos básicos de tendencia, homogeneidad y autocorrelación.

2) Identificación de regiones homogéneas: Esta etapa consiste en la formación de regiones que se asume a priori son homogéneas en cuanto a la distribución de probabilidad de la variable analizada para las estaciones incluidas en la región. Existe una gran cantidad de métodos para la formación de estas regiones. Algunos de los más utilizados son el análisis cluster, métodos multivariados, métodos basados en atributos geográficos y climáticos del área de estudio, región de influencia, lógica difusa, mapas autoorganizados e índice de estacionalidad (Chavochi y Soleiman, 2009; Burn y Goel, 2000; Kohnova *et al*., 2009; Lin y Chen, 2004). Sin embargo, para la elaboración del presente Atlas se adoptó y utilizó la reciente metodología de regionalización propuesta por Núñez *et al* (2016) denominada Búsqueda en la Distancia Mínima, como procedimiento de regionalización.

3) Selección de la distribución de frecuencia: Una vez que una región homogénea ha satisfecho la condición de homogeneidad, es posible seleccionar la distribución de probabilidad regional, así como determinar sus parámetros (Wallis *et al*, 2007). Para ello es posible utilizar como primera aproximación, los diagrama de los L-momento-ratios regionales (Hosking y Wallis, 1997, Vogel y Fennessey, 2003; Peel *et al*., 2001) y basar la decisión final en una prueba de bondad de ajuste, como la prueba ZDIST descrita en Hosking y Wallis (1997). En este último caso, la recomendación es considerar como una medida de ajuste adecuado un $Z<|1.64|$. En caso contrario, la distribución testeada no se ajusta adecuadamente a los datos observados.

4) Estimación de la función de cuantiles: Una vez seleccionadas la o las distribuciones de densidad de probabilidad, el analista está en condiciones de determinar los cuantiles o la función de cuantiles completa, para un sitio específico. Este procedimiento es coherente con el supuesto fundamental del ARF-LM que sostiene que, dentro de una región considerada homogénea, desde el punto de vista de la función de distribución de probabilidad de una variable aleatoria X a analizar, todos los sitios o puntos presentan la misma distribución de probabilidad y la única diferencia entre los sitios en su función de cuantiles está dada por un factor de escala.

5) Mapeo de la función de cuantiles o probabilidades: Una de las especiales ventajas que presenta el método de ARF-M, es la facilidad de implementar el mapeo espacial de los cuantiles, probabilidades o periodos de retorno, considerando aquellos sitios medidos y no medidos.

Esto ha sido demostrado en varios ejemplos de aplicación y extiende significativamente las capacidades asociadas al procedimiento, al generar, con un análisis probabilístico robusto, productos de gran valor para la toma de decisiones (Wallis *et al*., 2007; Schaefer *et al*., 2007, Schaefer *et al*., 2006; Baldassare *et al*., 2005; UNESCO, 2010; Núñez *et al*, 2016).

Esto es de importancia relevante por cuanto permite, por una parte, obtener estimaciones de probabilidad o cuantiles en lugares donde hay registros disponibles y, por otra, generar productos en formatos muy adecuados para el apoyo a la toma de decisiones, en el marco, por ejemplo, de planes de manejo del riesgo climático.

GLOSARIO

En la presente sección se ofrece al lector un Glosario de términos convencionales dentro de la hidrología probabilística, en general, y del análisis regional de frecuencias basado en L-momentos, en particular. Se espera que el mismo sea de utilidad para una mejor comprensión del contenido del presente Atlas. Todos los términos acá definidos o explicados han sido recogidos en el documento.

Algunas definiciones han sido extraídas del Glosario Hidrológico Internacional, de la Organización Meteorológica Mundial de las Naciones Unidas, mientras que otras han sido adaptadas de referencias reconocidas en el ámbito de la hidrología en general, e hidrología probabilística en particular.

Para una mayor profundización respecto de los términos acá descritos así como de la metodología utilizada en la elaboración del Atlas, se recomienda al lector acercarse a la bibliografía especializada, algunas de las cuales se encuentran indicadas en la sección de Referencias.

Aleatorio: En un contexto hidrológico, aleatoriedad significa esencialmente que las fluctuaciones de la variable se deben a causas naturales (OMM-N°168, v2).

Análisis de frecuencia: El análisis de frecuencia tiene por objeto analizar registros históricos de variables hidrológicas con el fin de estimar las probabilidades de que vuelvan a ocurrir (OMM-N°168, v2).

Análisis Regional de Frecuencias: El análisis regional de frecuencias consiste en la agregación de información proveniente de diversos sitios de medición para el ajuste de un modelo de distribución (Hosking y Wallis, 1997; Stedinger *et al*, 1993; OMM-N°168, v2).

Coeficiente de Asimetría: El coeficiente de asimetría es un estimador de la simetría (adimensional) de los datos de una muestra. Coeficientes de asimetría positivos se asocian a distribuciones con una cola larga hacia la derecha. Coeficientes de asimetría negativos se asocian a distribuciones con una cola larga hacia la izquierda (Kottegoda y Rosso, 2008).

Coeficiente de Variación: El coeficiente de variación es un estimador de la dispersión relativa (adimensional) de los datos de una muestra. Se calcua como la razón entre la desviación estándar y el promedio de dicha muestra (Kottegoda y Rosso, 2008).

Confiabilidad: La confiabilidad de los resultados de un análisis de frecuencia depende de qué tan bien se ajusta el modelo probabilístico supuesto a un conjunto de datos hidrológicos dados (Chow *et al*, 1994).

Curva de crecimiento regional: Corresponde a la función de cuantiles adimensionales, esto es x(F), que puede ser aplicada a todas las estaciones dentro de una región homogénea.

Distribución de Frecuencias: Corresponde a la agrupación de los datos en categorías mutuamente excluyentes y hace referencia a la cantidad o proporción de los datos que caen en dicha categoría. Habitualmente esta distribución se puede presentar en su forma absoluta, relativa, absoluta acumulada y relativa acumulada (Chow *et al*, 1994)

Distribución de Probabilidad: Corresponde a una función que asigna a cada suceso de una variable aleatoria su probabilidad de ocurrencia (Chow *et al*, 1994).

Diagrama de L-momento ratio: Corresponde a la gráfica que relaciona dos L-momento ratios a través de curvas específicas para cada tipo de distribución. Estos pueden se diagramas para L-CV versus L-kurtosis o L-Skewness versus L-kurtosis siendo esta última versión la más utilizada. Constituye una extensión, a los L-momentos, de los diagramas momento-ratio. Es utilizado habitualmente como apoyo a la selección del mejor modelo de probabilidad al que se ajustan los datos observados (Hosking y Wallis, 1997).

En el sitio: En el contexto del Análisis Regional de Frecuencias, se refiere a las observaciones y ajuste que pueden hacerse en un lugar, sitio o estación específica.

Estimador: Un estimador se refiere a un método para estimar una constante en una población parental (Kottegoda y Rosso, 2008). También, se entiende estimador como el procedimiento para describir las propiedades de una población con base a una muestra (Stedinger *et al*, 1993).

Función de densidad de Probabilidad: Para una variable aleatoria continua, corresponde a la ley de probabilidad que representa el caso límite de un polígino de frecuencia relativa cuando el tamaño de la muestra tiene al infinito. Se le conoce también como pdf, en inglés (Kottegoda y Rosso, 2012).

Función de distribución de Probabilidad: Conocida también en inglés como Función de Distribución Acumulada o cdf, corresponde a la ley de probabilidad que representa el caso límite de un polígono de frecuencia acumulada cuando el tamaño de la muestra tiende al infinito (Chow *et al*, 1994). Para una variable aleatoria discreta o continua X, corresponde a la probabilidad de no excedencia del valor x (Kottegoda y Rosso, 2008).

Gráfica de caja y bigotes o boxplot: Corresponde a una representación gráfica para resumir la distribución de un conjunto de datos (Maidment, 1992). De manera visual, provee una primera impresión de resumen de la tendencia central de los datos, su variabilidad, asimetría y presencia de valores atípicos (Stedinger *et al*, 1993).

Hidrología probabilística: Correspondería a la aplicación de los conceptos y procedimientos de las ciencias de la probabilidad y estadística al estudio y análisis de variables hidrológicas (Varas y Bois, 1998).

Índice de Avenida: Corresponde a un método de regionalización, que indica que, dentro de una Región Homogénea, todas las estaciones poseen un modelo de distribución de probabilidad común y las diferencias en sus cuantiles se deben a un factor de escala. Este factor de escala, que puede ser la media, mediana o cualquier otros cuantil, corresponde al Índice de Avenida (Hosking y Wallis, 1997).

Insesgado: Se dice que un estimador es insesgado cuando su sesgo, es decir, la tendencia a generar estimaciones sistemáticamente mayores o menores al valor verdadero, es cero (Hosking y Wallis, 1997).

L-momento: Es una combinación lineal generada a partir de los momentos ponderados por probabilidad, de una variable aleatoria.

L-momento ratio: Corresponde a la razón entre dos L-momentos. Los más utilizados son el L-Coeficiente de Variación L-Cv, el L-Coeficiente de Asimetría L-Asimetría y el L-Coeficiente de Curtosis L-Curtosis.

Muestra: En estadística, una muestra corresponde a una fracción de la población (Stedinger *et al*, 1993).

Parámetro: Los parámetros estadísticos son características de una población. Corresponde al valor esperado E de alguna función de una variable aleatoria . Un parámetro típico es la media de una población, a diferencia del promedio que es una estadística de la muestra (Chow *et al*, 1994).

Periodo de Retorno: El período de retorno T de un nivel dado es el promedio del número de años en que se espera un único fenómeno igual o superior. El período de retorno es igual al valor inverso de la probabilidad de excedencia durante un único año (OMM-N°168, v2).

Población: En estadística, población se refiere a una colección de objetos cuyas propiedades medibles son de interés. La población de interés puede ser finita y enumerable de manera explícita o pueden ser infinitas y definibles de manera abstracta (Stedinger *et al*, 1993).

Probabilidad de no excedencia: Sea una cantidad hidrológica una variable aleatoria designada como X. La probabilidad de que una ocurrencia cualquiera de esta variable sea igual o menor a un determinado valor x es conoce como Probabilidad de No Excedencia. El complemento de este valor es la Probabilidad de Excedencia (Hosking y Wallis, 1997).

Prueba de Mann-Kendall: La prueba de Mann-Kendall es una prueba no paramétrica basada en la correlación de rango que permite evaluar el significado de una tendencia (OMM-N°168, v2).

Robusto: En análisis de frecuencia en hidrología, robusto se refiere a aquella propiedad que posee un procedimiento estadístico que permite obtener estimaciones de los cuantiles cuya precisión no es afectada seriamente cuando el verdadero fenómeno físico analizado se desvía de los supuestos del modelo ajustado (Hosking y Wallis, 1997).

Serie: En el análisis de frecuencia, una serie es una secuencia conveniente de datos, por ejemplo, de observaciones horarias, diarias, estacionales o anuales de una variable hidrológica (OMM-N°168, v2).

Super-región heterogénea: Corresponde a un área en las que, si bien, pueden existir condiciones climáticas similares, no se cumple el criterio de homogeneidad en cuanto a la distribución de probabilidad de las estaciones en ella incluidas. Una súper-región heterogénea pueda estar constituida por una o más sub-regiones homogéneas.

Sub-región homogénea: Corresponde al conjunto de estaciones que, pudiendo ser geográficamente discontinuas, poseen una misma distribución de probabilidad del fenómenos analizado.

Variable aleatoria: Corresponde a cualquier cantidad cuyos valores depende del azar (Kottegoda y Rosso, 2008).

Variable continua: En estadística, una variable continua es aquella que puede tomar una cantidad infinita de valores entre dos valores cualesquiera de una característica. Cuando se aplica a una distribución, se dice que una distribución continua se usa para modelar una variable aleatoria X cuyos valores surgen de un proceso de medición (Kottegoda y Rosso, 2008).

Variable discreta: En estadística, una variable discreta es aquella que solo puede tomar una cantidad finita de valores entre dos valores cualesquiera de una característica. Cuando se aplica a una distribución, se dice que una distribución discreta se usa para modelar una variable aleatoria X cuyos valores surgen de un proceso de conteo (Kottegoda y Rosso, 2008).

Valor atípico: Los valores atípicos, dudosos o outliers son aquellos que se alejan significativamente, hacia arriba o hacia abajo, del patrón general de los datos observados (Chow *et al*, 1994).

ZDIST: Corresponde a una medida estadística de bondad de ajuste de una distribución basada en las características particulares de los L-momentos de la muestra, por lo que sólo tiene aplicabilidad bajo el enfoque de análisis de frecuencia basado en L-momentos (Hosking y Wallis, 1997).

REFERENCIAS

Ab'Saber, A.N. 1977. Espaços ocupados pela expansão dos climas secos da América do Sul, por ocasião dos períodos glaciais quaternários. Paleoclimas, v. 3.,p. 1-19.

Abers, R. N. *et al*.2009. Inclusão, deliberação e controle: três dimensões de democracia nos comitês e consórcios de bacias hidrográficas no Brasil. Ambiente & Sociedade, v. XII, n. 1, p. 115-132,

ACFIMAN (Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales, Venezuela)/SACC (Secretaría Académica de Cambio Climático, Venezuela).2018. Primer Reporte Académico de Cambio Climático 2018: Contribución de los Grupos de Trabajo I, II y III al Primer Reporte Académico de Cambio Climático (PRACC) de la SACC de la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales de Venezuela. Villamizar, A., E. Buroz Castillo, R. Lairet Centeno, J. A. Gómez (Editores). Caracas: Ediciones ACFIMAN – CITECI.

Acuña et. al. 2011. Análisis regional de frecuencia de precipitación anual para la determinación de mapas de sequías. Revista Peruana Geo Atmosférica RPGA (3), 104-115

Acuña et. al . 2015. Análisis regional de frecuencia de precipitación anual para la determinación de mapas de sequías en las cuencas Chillón, Rímac, Lurín y Alto Mantaro. Revista Peruana Geo Atmosférica RPGA (4).

Adeel, Z. 2017. A Renewed focus on water security within the 2030 agenda for sustainable development. Sustain Sci 12(6)

Adikari, Y. y Yoshitari, J. 2009. Global Trends in Water-Related Disasters: an insight for policymakers. International Centre for Water Hazard and Risk Management (ICHARM). The United Nations World Water Assessment Programme

Aldunce, P. y M. González. 2009. Desastres asociados al clima en la agricultura y medio rural en Chile, Barclau

Aldunce, P., Bórquez, R., Indvik, K., Lillo, G. 2015. Identificación de actores relacionados a la sequía en Chile. Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia.

Alves, J. J. A.; Souza, E. N.; Nascimiento, S. S. 2009. Núcleos de desertificação no estado da Paraíba. Ra´ega, n. 17, p. 139-152

Anuário Brasileiro de Desastres Naturais. 2013. Brasília-DF: CENAD, 2014.

Araneda, R. 2017. Estudio de Evaluación de la preligrosidad por sequías en la cuenca del Río Paute (Ecuador), escenarios presente y futuros. Santander: Universidad de Cantabria, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. 111 pp.

Arblaster, J. M.; Meehl, G. A.; Karoly, D. J. 2011. Future climate change in the Southern Hemisphere: Competing effects of ozone and greenhouse gases. Geophysical Research Letters, 38(2), n/a-n/a. doi:10.1029/2010gl045384

Arenas, F.; Hidalgo, R.; Lagos, M. 2010. Los riesgos naturales en la planificación territorial. Santiago de Chile: Centro de Políticas Públicas UC.

Argeñal, F. (2010). Variabilidad Climática y Cambio Climático en Honduras.

Arteaga, C.; Tapia, R. 2015. Vulnerabilidades y desastres socionaturales. Experiencias recientes en Chile. Santiago: Editorial Universitaria.

Arteaga, K. T. 2006. Climatic variability related to El Niño in Ecuador ? a historical background. Advances in Geosciences, European Geosciences Unión., 237-241 pp. SRef-ID: 1680-7359/adgeo/2006-6-237.

Astaburuaga, R. 2004. El agua en las zonas áridas de Chile. ARQ Nº 57. Ediciones ARQ, Santiago, July

Atlas Brasileiro de Desastres Naturais. 1991 a 2012. 2. ed. rev. ampl. – Florianópolis-SC: CEPED UFSC, 2013 (Volume Brasil).

Atlas Brasileiro de Desastres Naturais. 1991-2010. Florianópolis-SC: CEPED UFSC, 2011.

Audefroy, J. 2013. La Problemática de los Desastres en el Hábitat Urbano en América Latina. Revistas UChile, 20.

Azevedo, S. C. D. et. al. 2018. Analysis of the 2012-2016 drought in the northeast Brazil and its impacts on the Sobradinho water reservoir. Remote Sensing Letters, v. 9, n. 5, p. 438-446.

Bachmair, S.; Stahl, K.; Collins, K.; Hannaford, J.; Acreman, M.; Svoboda, M., ... Overton, I. C. 2016. Drought indicators revisited: the need for a wider consideration of environment and society. Wiley Interdisciplinary Reviews: Water, 3(4), 516-536. doi:10.1002/wat2.1154

Baethgen, W. E.; Meinke, H.; Gimenez, A. 2004. Adaptation of agricultural production systems to climate variability and climate change: lessons learned and proposed research approach. In: insights and tools for adaptation: learning from climate variability. NOAA-OGP, Washington, D.C. ENV/ EPOC/GF/SD/RD. Organisation for Economic Co- operation and Development.

Baldassarre, G.; Castellarin, A.; Brath, A. 2005. Evidences of relationships between statistics of rainfall extremes and mean annual precipitation: an application for design-storm estimation in northern central Italy. Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss., 2, 2393–2425, 2005

Balling, R. C.; Meyer, G. A.; Wells, S. G. 1992. Climate change in Yellowstone National Park: is the drought-related risk of wildfires increasing? Climatic change, 22(1), 35-45.

Baptista, A. 2005. El capitalismo rentístico. Elementos cuantitativos de la economía venezolana. Cuadernos del CENDES, 22(60), 97-115.

Banco Interamericano de Desarrollo (BID). 2016. Perfil de Riesgo de Desastres para Bolivia. Informe nacional. Disponible en https://publications.iadb.org/bitstream/handle/11319/8198/Perfil-de-Riesgo-de-Desastres-para-Bolivia.pdf?sequence=1

Barosa, H. A.; Kumar, T. V. L. 2016. Influence of rainfall variability on the vegetation dynamics over Northeastern Brazil. Journal of Arid Environments, v. 124, p. 377-387.

Barrenechea, P. 2009. Estudio Nacional de Economía. del Cambio Climático en Uruguay. Dinama, MVOTMA. Uruguay. 27 p.

Barrero, A. 2005. Análisis de la sequía histórica de 1925-1926. Bogotá D.C.: ISSN-0124-6984.

Barrientos. 2018. El colapso de las culturas prehispánicas y su vínculo con el Fenomeno El NIño en la cuenca del río Osmore-Moquegua.

Basabe, P. A. 1996. Avance en la prevención de desastres naturales en la cuenca del río Paute, Ecuador. Cuenca-Ecuador: Universidad de Cuenca.

Bauer, C.J. 2004. Results of Chilean water markets: Empirical research since 1990. Water Resources Research, 40:1-11.

BCRP. 1992. Memoria al 31 de diciembre de 1992. Disponibles en: http://www.bcrp.gob.pe/docs/Publicaciones/Memoria/1992/Memoria-BCRP-1992-1.pdf

Begueria, S. et. al. 2014. Standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI) revisited: parameter fitting, evapotranspiration models, tools, datasets and drought monitoring. International Journal of Climatology, v. 34, n. 10, p. 3001-3023.

Below, R.; Grover-Kopec, E.; Dilley, M. 2007. Documenting Drought-Related Disasters: A Global Reassessment. The Journal of Environment & Development, 16(3), 328-344. doi:10.1177/1070496507306222

BID. 2011. Peru: gestion del riesgo de desastres y adapatacion al cambio climatico. marco de la preparacion de la estrategia 2012-2016 del BID en Peru. Nota tecnica N° IDB-TN-620

BID. 2016. "¡Es Niño! Impacto económico en la Región Andina.

BID. 2016. Perfil de Riesgo de Desastres Informe Nacional para Chile. División de Medio Ambiente, Desarrollo Rural y Gestión del Riesgo por Desastres, NOTA TÉCNICA Nº IDB-TN-1079, Banco Interamericano del Desarrollo.

Bidegain, M.; Crisci, C.; del Puerto, L.; Inda, H.; Mazzeo, N.; Taks, J.; Terra, R. 2014. Clima de cambios: Nuevos desafíos de adaptación en Uruguay: Volumen 1: Variabilidad climática de importancia para el sector productivo. FAO, MGAP. FAO-MGAP. TCP URU/3302.

Biondi, F.; Gershunov, A; Cayan, D.R. 2001. North Pacific decadal climate variability since AD 1661, Journal of Climate, 14(1):5-10

Blain, G. C. 2012. Revisiting the probabilistic definition of drought: strengths, limitations and an agrometeorological adaptation. Bragantia, 71(1), 132-141. doi:10.1590/s0006-87052012000100019

Blain, G. C.; Meschiatti, M. C. 2015. Inadequacy of the gamma distribution to calculate the Standardized Precipitation Index. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 19(12), 1129-1135. doi:10.1590/1807-1929/agriambi.v19n12p1129-1135

Blain, G. C.; De Avila, A. M.; Pereira, V. R. 2018. Using the normality assumption to calculate probability-based standardized drought indices: selection criteria with emphases on typical events. International Journal of Climatology, 38, e418-e436. doi:10.1002/joc.5381

Bodmer et. al. 2004. Impacto de la Sequía e Inundaciones Intensas en la Reserva Nacional Pacaya Samiria. Doi 10.13140/2.1.3954.7685 Disponible: https://www.researchgate.net/publication/272169917_Cambio_climatico_y_fauna_silvestre_en_la_Amazonia_peruana_Impacto_de_la_sequia_e_inundaciones_intensas_en_la_Reserva_Nacional_Pacaya_Samiria

Boisier, J. P.; Rondanelli, R.; Garreaud, R. D.; Muñoz, F. 2016. Anthropogenic and natural contributions to the Southeast Pacific precipitation decline and recent megadrought in central Chile. Geophysical Research Letters, 43(1), 413-421. doi:10.1002/2015gl067265

Bolsa de Cereales de Córdoba, 2016. http://www.agrovoz.com.ar/actualidad/lasinundaciones-dejan-una-perdida-de-13000-millones-en-córdoba.

Botana, M. I.; Perez Ballari, A.; Scarpati, O.E. 2009. Patrones de distribución espacial y temporal de las sequías un aporte desde la Geografía Física En: Caminando en una América Latina en transformación. Cap. 7-Procesos de la interacción sociedad-naturaleza. Universidad de la Republica. Montevideo, Uruguay. Pags. 1- 8.

Buishand, T.A. 1991. Extreme rainfall estimation by combining data from several sites. Hydrologkal Sciences - Journal - des Sciences Hydrologiques,36, 4, 8345-365

Buriti, C. O.; Barbosa, H. A. 2018. Um século de secas: por que as políticas hídricas não transformaram o Semiárido brasileiro? Lisboa-Portugal: Chiado Books, 434 p.

Burn, D.; Goel, N. 2000. The formation of groups for regional flood frequency analysis. Hydrological Sciences-Journal~des Sciences Hydrologiques, 45(1): 97-112

Buxedas, M. 2009. La crisis de los mercados y la sequía convocan a avanzar en el manejo del riesgo. Anuario OPYPA., Artículo Nº 01, http://www.mgap.gub.uy/unidad-organizativa/oficina-de-programacion-y-politicas-agropecuarias/publicaciones/anuarios-opypa/2009

Cabrera, G. 2013. Indice de aridez de Honduras. Tegucigalpa : IHCIT-UNAH.

Camus, P.; Arenas, F.; Lagos, M.; Romero, A. 2016. Visión histórica de la respuesta a las amenazas naturales en Chile y oportunidades de gestión del riesgo de desastre. Revista de geografía Norte Grande, (64), 9-20. doi:10.4067/s0718-34022016000200002

Carbone, G. J.; Lu, J.; Brunetti, M. 2018. Estimating uncertainty associated with the standardized precipitation index. International Journal of Climatology, 38, e607-e616. doi:10.1002/joc.5393

Caritas de Venezuela. 2011. Implementación del sistema de alerta temprana comunitario. Caracas: Plan DIPECHO - América del sur. Recuperado el 7 de febrero de 2014 de http://herramientas.cridlac.org/www/sites/default/files/pdfsherramientas/H_7_Implementacion_SATC.pdf

Cascos Blancos Argentina. 2018. En página web: http://cascosblancos.gob.ar. Consultada 1/7/2018.

Castaño, J. P.; Giménez, A.; Ceroni, M.; Furest, J.; Aunchayna, R.; Bidegain, M. 2011. Caracterización agroclimática del Uruguay 1980-2009 (No. 551.58: 631 CAR).

CDC. 2015. Regula ajustes a la hora oficial de Chile para la determinación del horario de verano. Boletín 10459-06.Cámara de Diputados de Chile

CENEPRED. 2016. Plan Multisectorial de Prevención y Reducción de Riesgos ante Sequías 2016 Disponible en: https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/Plan%20Multisectorial%20de%20Prevencion%20y%20reduccion%20de%20riesgos%20ante%20sequias%202016.pdf

CEPAL. 2012. La economía del cambio climático en Chile. Santiago: Naciones Unidas, 367. Recuperado de http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/35372/S2012058_es.pdf?sequence=1.

CEPAL. (s.f.). Bases de Datos y publicaciones estadísticas CEPALSTAT. Obtenido de estadisticas.cepal.org/cepalstat/Portada.html

CEPAL. 2016. Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe. Comisión Económica para América Latina y el Caribe. Santiago. 63 p.

CEPAL. 2018. Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible Una oportunidad para América Latina y el Caribe. Comisión Económica para América Latina y el Caribe.

CEPED. Centro de Estudos e Pesquisas em Engenharia e Defesa Civil. Relatório de danos materiais e prejuízos decorrentes de desastres naturais no Brasil (1995-2014). Florianópolis-SC: CEPED UFSC, 2016.

Chavochi, S.; W.Soleiman. 2009. Delineating Pooling Group for Flood Frequency Analysis Using Soft Computing. European Journal of Scientific Research. Vol.35 (2): 181-187

Chiok; Lavado. Reporte sbore Observatorio Nacional de sequias y primera inicaitiva de monitoreo y difusion en el Perú. http://database.cazalac.org/publicaciones/609302_Observatorio_Nacional_de_Sequias_y_primera_iniciativa_de_monitoreo_y_difusion_en_el_Peru.pdf

Choque, M. 2002. Evaluación de los efectos del Fenómeno El Niño en la región Puno.

Chow, V.; Maidment, D.; Mays, L. 1994. Hidrología aplicada. McGraw-Hill.

CIIFEN, 2017. Informe de evaluación de impactos del Fenómeno El Niño 2015 2016. Contexto regional. Bolivia, Colombia, Ecuador y Perú. Disponible en: file:///C:/Users/jacuna/Downloads/Atlas%20de%20Impactos%20del%20ENSO%202015%202016%20FINAL%20(1).pdf

Ciro, P. 2011. Crisis eléctrica en Venezuela. Dónde estamos y hacia dónde vamos. Foro Energía y petróleo. Universidad del Zulia. Maracaibo, Venezuela, 6.

CMRRD. 2004. Comisión multisectorial de reducción de riesgo en el desarrollo. Diagnóstico para la estrategia nacional de reducción de riesgos para el Desarrollo. Volumen 1. Aspectos físico espaciales. Disponible: http://sigrid.cenepred.gob.pe/docs/PARA%20PUBLICAR/PCM/Diagnostico%20Estrategia%20Nacional%20de%20Reduccion%20de%20Riesgos%20-%20Vol.1%20Aspectos%20fisicos.pdf

CNID. 2016. Hacia un Chile resiliente frente a desastres: una oportunidad. Estrategia Nacional de Investigación, Desarrollo e Innovación para un Chile resiliente frente a desastres de origen natural. Consejo Nacional de Innovación para el Desarrollo, Gobierno de Chile.

Comisión Económica para América Latina y El Caribe CEPAL. (1999). Honduras: Evaluación de los daños ocasionados por el Huracán Mitch, 1998: Sus implicaciones para el desarrollo económico y social y el medio ambiente. Naciones Unidas.

CONALDES. 2016. Estrategia nacionald e lucha contra la desertificacion y la sequia 2016-2030. Lima: Ministerio del Ambiente.

Contreras *et al*. 2017. Impacto del Fenomeno de El Niño a la economia Peruana. Documento de trabajo N° 97 Mayo Disponible en: http://perueconomics.org/wp-content/uploads/2014/01/WP-97.pdf.

COPECO-UNISDR. (diciembre de 2013). Informe sobre gestión integral del riesgo de desastres en Honduras 2013. Obtenido de http://dipecholac.net/docs/files/887-informe-gird-honduras-version-preliminar-web.pdf

Cook, C.; Bakker, K. 2012. Water security: Debating an emerging paradigm. Global Environmental Change, 22(1), 94-102. doi:10.1016/j.gloenvcha.2011.10.011

Cortelezzi, A. 2017 Situación y perspectivas de las cadenas agroindustriales. En: ANUARIO OPYPA 2017. http://www.mgap.gub.uy/unidad-organizativa/oficina-de-programacion-y-politicas-agropecuarias/publicaciones/anuarios-opypa/2017

Cortés, M. 1997. El sistema Paloma: un original sistema de distribución de aguas de riego en la Región de Coquimbo. Revista Derecho, Universidad Católica del Norte, (4): 153-158. DOI:10.22199/S07189753.1997.0001.00015

CR2. 2015. Informe a la Nación: La megasequía 2010-2015: Una lección para el futuro. Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR)2. Noviembre de 2015.

CREAN. 2016. Monitoreo de Sequias. Centro de Relevamiento y Evaluación de Recursos Agrícolas y Naturales. http://www.crean.unc.edu.ar/secciones/ monitoreo/monitoreo _intro.html. Consultada el 10/06/2018.

Cruz, G.; Baethgen, W.; Bartaburu, D.; Bidegain, M.; Giménez, A.; Methol, M.; Morales, H.; Picasso, V.; Podestá, G.; Taddei, R.; Terra, R.; Tiscornia, G.; Vinocur, M. 2018. Thirty Years of Multilevel Processes for Adaptation of Livestock Production to Droughts in Uruguay. Weather, Climate, and Society, 10(1), 59-74.

Cruz, G.; Baethgen, W.; Picasso, V.; Terra, R. 2014. Análisis de sequías agronómicas en dos regiones ganaderas de Uruguay. Agrociencia Uruguay, 18(1), 126-132.

Damania, R.; Desbureaux, S.; Hyland, M.; Islam, A.; Moore, S.; Rodella, A.S.; Russ, J.; Zaveri, E. 2017. Aguas inexploradas. La nueva economía de la escasez y la variabilidad del agua. Grupo Banco Mundial. International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank

Del Callejo; Iriarte. 2014. Fortalecimiento institucional para el establecimiento de sistemas de alerta temprana frente a la sequía en el Chaco Cruceño. Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua (Centro AGUA). Universidad Mayor de San Simón.

Demoraes, F. D. 2016. Cartografía de las amaenazas de origen natural por cantón en Ecuador. Sciences de l'Homme et Société/Géografphie, 1-66. HAL Id: hal-01292338.

Departamento Nacional de Planeación DNP. 2017. Efectos económicos de futuras sequías en Colombia: Estimación a partir del Fenómeno El Niño 2015. En: https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Estudios%20Econmicos/466.pdf

DesInventar. (15 de Julio de 2018). desinventar.org. Obtenido de https://online.desinventar.org

Desinventar, 2018. Portal Inventory system of the effects of disasters. De Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina - LA RED. https://www.desinventar.org/.

Diario El Observador (2018). Gremiales rurales prevén piso de pérdidas por US$ 1.000 millones por sequía. https://www.elobservador.com.uy/gremiales-rurales-preven-piso-perdidas-us-1000-millones-sequia-n1228123

Díaz, C.; Galetovic, A.; Soto, R. 2000. La crisis eléctrica de 1998-1999: causas, consecuencias y lecciones. Documentos de Trabajo 81, Centro de Economía Aplicada, Universidad de Chile.

Dilley M.; Chen R.S.; Deichmann, U.; Lerner-Lam, A.L.; Arnold, M et al. 2005. Natural disaster hotspots – a global risk analysis. Report of the International Bank for Reconstruction and Development/The World Bank and Columbia University: 132

Dupuis, D.J.; Winchester,C. 2000. More on the four-parameter kappa distribution. Journal of Statistical Computation and Simulation. Volume 71, Issue 2, 2001, Pages 99 - 113

El Heraldo. (2015). Sequía en Honduras deja pérdidas de más de millón de quintales de granos. Obtenido de http://www.elheraldo.hn/tag/735037-214/sequía-en-honduras-deja-pérdidas-de-más-de-millón-de-quintales-de

Endara, S. 2018. Identificación de años secos en el Perú, en el marco del grupo de trabajo de sequias de SENAMHI.

Espinosa, G. 1985. Los desastres y su relación con el manejo de los recursos naturales en Chile, AMB. y DES., VOL I, N° 3, Págs. 159-172,

Espinoza; Marengo. 2015. Sequías e inundaciones estacionales extremas en la Amazonia: causas, tendencias e impactos. Revista internacional de climatología DOI: 10.1002/joc.4420

Espinoza *et al*. 2011. Las recientes sequías en la cuenca amazónica peruana: orígenes climáticos e impactos hidrológicos. RPGA (3), 63-72

Espinoza *et al*. 2012. De las sequías a las crecidas: entendiendo el abrupto 2010-2011 ciclo anual hidrológico en el río Amazonas y sus tributarios. Environmental Research Letters, 7(2). doi: 10.1088/1748-9326/7/2/024008

Fajardo, C. 2008. Predicción y Vigilancia Hidrometeorológica de eventos adversos al servicio de la comunidad-sistemas de alerta temprana. Quito-Ecuador: Instituto de Altos Estudios Nacionales.

FAO. 2008. Ecuador un país con elevada vulnerabilidad, 1-12.

FAO. 2014. Incorporación de la gestión del riesgo agroclimático en el sector silvoagropecuario de Chile: Experiencia de cooperación de la FAO. Santiago.

FAO, O. d. 2015. Entendiendo el impacto de sequía provocada por el Niño en el área agrícola mundial. Roma: www.fao.org/3/a-i4251.s.pdf.

FAO. 2017. Gestión integral del riesgo de desastres en el sector agrícola y la seguridad alimentaria en los países del CAS. Análisis de capacidades técnicas e institucionales, Chile. Organización de Las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación – FAO, Santiago.

FAO. 2017. Lineamientos y recomendaciones para la implementación del Marco de Sendai para la reducción del Riesgo de Desastres en el Sector Agrícola y Seguridad Alimentaria y Nutricional de América Latina y el Caribe. Santiago-Chile: UNISDR Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres.

FAO. 2018. The impact of disasters and crises on agriculture and food security 2017. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 2018

FAO-IICA. 2017. Gestión integral del riesgo de desastres en el sector agrícola y la seguridad alimentaria en los países del CAS. Análisis de capacidades técnicas e institucionales Uruguay. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura y el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura en representación del Consejo Agropecuario del Sur Santiago, 2017. ISBN 978-92-5-130039-8 (FAO).

Fattorelli, S.; Fernández,P. 2007. Diseño Hidrológico. Zeta Editores. 2007.

Fernández *et al*. 2016. Reporte extraordinario de condiciones de sequía a Enero del 2016. Lima.

Fernández, B.; Salas, J. D. 1999. Return Period and Risk of Hydrologic Events. II: Applications. Journal of Hydrologic Engineering, 4(4), 308-316. doi:10.1061/(asce)1084-0699(1999)4:4(308)

Fernández, B.; Salas, J. D. 2001. Closure to "Return Period and Risk of Hydrologic Events. I: Mathematical Formulation" by B. Fernandez and J. D. Salas. Journal of Hydrologic Engineering, 6(4), 361. doi:10.1061/(asce)1084-0699(2001)6:4(361)

Ferrando, F. 2002. Cuenca del Río Limarí, Chile Semiárido: Aspectos de la Oferta y Demanda de Agua. Revista de Geografía Norte Grande, 30: 23-44

Finney, J. 2004. Optimization of a skewed logistic distribution with respect to the kolmogorov-smirnov test. A Dissertation Submitted to the Graduate Faculty of the Louisiana State University and Agricultural and Mechanical College in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy in The Interdepartmental Program in Engineering Science. 128 pp

Foghin-Pillin, S. 2015. El año de las humaredas: Registro histórico de algunas sequías extremas en Venezuela. Bitácora-e. 2, 3-25.

Fuller, W. 1914. Flood flows, Trans. Am. Soc. Civ. Eng., 77, 564–617.

Galvez, P. 2017. Caracterización de las sequías históricas y proyectadas bajo escenarios de cambio climático en la cuenca del rio Mantaro. UNALM, 106.

Garreaud R.; Vuille M.; Clemente, A. 2003. The climate of the Altiplano: observed current conditions and mechanisms of past changes. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 194. 5-22.

Garreaud, R.; Alvarez-Garreton, C.; Barichivich, J.; Boisier, J.P.; Christie, D.; Galleguillos, M.; LeQuesne, C.; McPhee, J.; Zambrano-Bigiarini, M. 2017. The 2010–2015 Mega Drought in Central Chile: Impacts on Regional Hydroclimate and Vegetation. Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss. 2017, 1–37

Germanwach. 2015. Índice de Riesgo Climático Global. Bonn: Germanwatch e.V. Recuperado el Enero de 2017, de https://germanwatch.org/de/download/10343.pdf

Germanwatch. 2018. Índice de Riesgo Climático Global 2018. Disponible en línea: { https://germanwatch.org/de/download/20398.pdf]

Ghermandi, L.; Mi de Torres Curth. 2005. Los incendios en la Patagonia. Documento Final del I Workshop de Integración Regional. Bariloche, Argentina. 114 pp.

Giménez, A.; Castaño, J. P.; Baethgen, W. E.; Lanfranco, B. 2009. Cambio climático en Uruguay, posibles impactos y medidas de adaptación en el sector agropecuario. INIA, Serie técnica, (178), 56.

Giménez, A.; Lanfranco, B. 2012. Adaptación al cambio climático y la variabilidad: algunas opciones de respuesta para la producción agrícola en Uruguay. Revista mexicana de ciencias agrícolas, 3(3), 611-620.

Global Water Partnership GWP. (junio de 2016). Análisis socioeconómico del impacto sectorial de la sequía de 2014 en Centroamérica. Obtenido de https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-cam_files/impacto-sequia-2014_fin.pdf

Gomes, U. A. F.; Heller, L. 2016. Acesso à água proporcionado pelo Programa de Formação e Mobilização Social para Convivência com o Semiárido: Um Milhão de Cisternas Rurais: combate à seca ou ruptura da vulnerabilidade? Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 21, n. 3, p. 623-633

González-Reyes, Á. 2016. Ocurrencia de eventos de sequías en la ciudad de Santiago de Chile desde mediados del siglo XIX. Revista de geografía Norte Grande, (64), 21-32. doi:10.4067/s0718-34022016000200003

Gray, C. 2009. Environment, Land, and Rural Out-migration in the southern Ecuadorian Andes. World Development, (37), 457-468. doi:10.1016/j.worlddev.2008.05.004.

Guenni, L., Degryze, E.; Alvarado, K. 2008. Análisis de la tendencia y la estacionalidad de la precipitación mensual en Venezuela. Revista Colombiana de Estadística, 31(1), 41-65.

Gumbel, E. J. 1941. The return period of flood flows, Ann. Math. Stat., 12(2), 163–190.

Hadjigeorgalis, E. 2008. Distributional Impacts of Water Markets on Small Farmers: Is There a Safety Net?‖ Water Resources Research, Vol. 44, W10416, doi:10.1029/2007WR006527

Hall, BL.; Brown, JT. 2003. A comparison of precipitation and drought indices related to fire activity in the U. S. In: Proceedings of the 5th symposium on fire and forest meteorology. American Meteorological Society, Orlando FL

Hallack-Alegría, M.; Watkins jr. D.W. 2007. Annual and Warm Season Drought Intensity-Duration-Frequency Analysis for Sonora, Mexico. Journal of Climate, 20 (9): 1897-1909

Hallack-Alegría, M.; Ramirez-Hernandez, J.; Watkins, W.D. 2011. ENSO-conditioned rainfall drought frequency analysis in northwest Baja California, Mexico. Int. J. Climatol DOI: 10.1002/joc.2310

Hayes, M.; Svoboda, M.; Wall, N.; Widhalm, M. 2011. The Lincoln declaration on drought indices: universal meteorological drought index recommended. Bull. Am. Meteorological Soc. 92, 485–488.

Heim, R. 2002. A review of twentieth-century drought indices used in the United States. Bull. Am. Meteorological Soc. 83, 1149–1165.

Henríquez, C.; Aspee, N.; Quense, J. 2016. Zonas de catástrofe por eventos hidrometeorológicos en Chile y aportes para un índice de riesgo climático. Revista de geografía Norte Grande, (63), 27-44. doi:10.4067/s0718-34022016000100003

Hernández, R. 2008. Caracterización de la sequía meteorológica en los climas Árido, Semiárido y Subhúmedo seco en los Llanos Centro Orientales de Venezuela, para el manejo de los recursos hídricos. Centro de Investigación y Postgrado. UNEFA-CIP. Universidad Nacional Experimental Politécnica de la Fuerza Armada, Maracay, Venezuela.

Herwehe, L.; Scott, C. A. 2018. Drought adaptation and development: small-scale irrigated agriculture in northeast Brazil. Climate and Development, v. 10, n. 4, p. 337-346.

Hosking, J.; Wallis, J. 1997. Regional frequency analysis: an approach based on Lmoments. Cambridge University Press, Cambridge, U.K.

Hosking, J. 1994. The four-parameter Kappa distribution. IBM. Journal Research Development. Vol 38 (3): 251-258

IBGE. 2006. Censo Agropecuário: Agricultura Familiar - Brasil, Grandes Regiões e Unidades da Federação.

IBGE. 2017. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Perfil dos municípios brasileiros: 2017. Rio de Janeiro-RJ: IBGE

IDEAM. 2017. Estadísticas de la sequía en Colombia. http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/notas-tecnicas-sequia.

IDEAM. 2014. Estudio Nacional del Agua. Bogotá D.C., Colombia.

IGP. 2012.Eventos meteorologicos xtremos 8sequias, heladas y lluvais intensas) en el valle del Mantaro. Primera edicion abril.Lettera grafica SAC Disponible: http://www.met.igp.gob.pe/proyectos/maremex

IHCIT. (1915-2015). Desinventar. Obtenido de https://online.desinventar.org/desinventar/#HND-20101004

IICA. 1980. El sector agropecuario del Ecuador, resumen del diagnóstico preliminar y estrategia global. Quito: Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas.

INAMEH (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, Venezuela). 2013. Sistema de pluviómetros comunitarios. Caracas: INAMEH. Recuperado el 15 de febrero de 2014 de http://estaciones.inameh.gob.ve/pluviometros/plus_ home_invitado.php

INDECI. 2016. Boletin estadistico virtual de la gestion reactiva No 07/año 4/Jul 2017. Disponible: https://www.indeci.gob.pe/objetos/secciones/MTc=/MjI0/lista/OTk0/20170809170638l.pdf

IDEAM. 2006. La Sequía en Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales En: http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/notas-tecnicas-sequia.

IDEAM. 2018. Atlas Climatológico de Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales En: http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/atlas-de-colombia.

IDEAM. 2017. Actualización de las estadísticas de la Sequía en Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales En: http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/notas-tecnicas-sequia.

IDEAM. 2012. Sequía Meteorológica y sequía Agrícola en Colombia - Incidencia actual y Tendencias. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales En: http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/escenarios-cambio-climatico.

IRD. 2003. Amenazas, vulnerabilidad, capacidades y riesgo en el Ecuador. Los desastres, un reto para el desarrollo. Quito-Ecuador: Cooperazione Internazionale, Institut de Recherche pour le Développement, Oxfam .

IWR. 1994. The National Drought Atlas. U.S. Army Corps of Engineers, Water Resources Support Center, Institute for Water Resources

Jiménez-Cisneros, B. 2015. Seguridad hídrica: retos y respuestas, la Fase VIII del Programa Hidrológico Internacional de la UNESCO (2014-2021). Aqua-LAC - Vol. 7 - Nº 1 - Mar. 2015. pp. 20 – 27

Kaluba, P.; Verbist, K.; Cornelis, W.; Van Ranst, E. 2017. Spatial mapping of drought in Zambia using regional frequency analysis, Hydrological Sciences Journal, DOI: 10.1080/02626667.2017.1343475

Kane, R. P. 1997. Prediction of droughts in North-east Brazil: role of ENSO and use of periodicities. International Journal of Climatology, v. 17, p. 655-665

Kawas, N. 2011. Pérdidas por sequía. IHCIT-UNAH, Honduras.

Kayen, N.; Hartley, A.; Hemming, D. 2012. Mapping the climate: guidance on appropriate techniques to map climate variables and their uncertainty. Geosci. Model Dev. 5, 245–256.

Keetch, J. J.; Byram, G. M. 1968. A drought index for forest fire control. Res. Pap. SE-38. Asheville, NC: US Department of Agriculture, Forest Service, Southeastern Forest Experiment Station. 35 pp.

Kelley, C. P.; Mohtadi, S.; Cane, M. A.; Seager, R.; Kushnir, Y. 2015. Climate change in the Fertile Crescent and implications of the recent Syrian drought. Proceedings of the National Academy of Sciences, 112(11), 3241-3246. doi:10.1073/pnas.1421533112

Kohnová, S.; Hlavčová,K.; Szolgay, J.; Stevková. A. 2009. Seasonality Analysis of the Occurrence of Low Flows in Slovakia. International Symposium on Water Management and Hydraulic Engineering Ohrid/ Macedonia, 1-5 September 2009 Paper: A92

Kottegoda, N.; Rosso, R. 2008. Applied Statistics for Civil and Environmental Engineers.

Kottek, M.; Grieser, J.; Beck, C.; Rudolf, B.; Rubel, F. 2006. World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. Meteorologische Zeitschrift, 15(3), 259-263.

Kundzewicz, Z.W.; Matczak, P. 2015. Hydrological extremes and security. In: Hydrological Sciences and Water Security: Past, Present and Future (ed. by Cudennec, C. *et al.*), PIAHS 366, 44–53

Las condiciones de sequía y estrategias de gestión en Honduras. (s.f.). Obtenido de http://www.droughtmanagement.info/literature/UNW-DPC_NDMP_Country_Report_Honduras_2013.pdf

Leemis,L..; McQueston, L. 2008. Univariate Distribution Relationships. The American Statistician, Vol. 62(1): 45-53

Li, J. *et al*. 2013. El Niño modulations over the past seven centuries. Nat. Clim. Change 3, 822–826

Lin, G.; Chen, L. 2006. Identification of homogeneous regions for regional frequency analysis using the self-organizing map. Journal of Hydrology 324: 1–9

Lindoso, D. *et al*. 2009. Vulnerabilidade socioeconômica da agricultura familiar brasileira às mudanças climáticas: o desafio da avaliação de realidades complexas. Boletim regional, urbano e ambiental, n. 4, p. 21-31, jul.

Loucks, D.; Van Beek, E. 2005. Water Resources Systems Planning and Management: An Introduction to Methods, Models, and Applications. Paris, France: UNESCO Press

Loukas, A.; Vasiliades. L. 2004. Probabilistic analysis of drought spatiotemporal characteristics in Thessaly region, Greece. Natural Hazards and Earth System Sciences (4): 719–731

Mackenna, B.V. 1887. Ensayo histórico del Clima de Chile. Valparaiso. Imprenta del Mercurio.

MAE. 2017. Tercera Comunicación Nacional del Ecuador sobre Cambio Climático. Quito-Ecuador: Direccion Nacional de Mitigación y Adaptación al Cambio Climático.

Magalhaes, A. 2018. Towards national drought policies in Latin America and the Caribbean region. White Paper. Regional Conference on Drought Preparedness for Latin America and the Caribbean Region Santa Cruz de la Sierra, Bolivia, 14–16 August, 2017, organized by the UNCCD, FAO, WMO and the Government of Bolivia.

Marengo. 2004. 1993. Case studies of extreme climatic events in the Amazon basin. J. Clim. 6, 617^627.

Marengo, J. A. *et al*. 2013. Two contrasting severe seasonal extremes in Tropical South America in 2012: Floods in Amazonia and Drought in Northeast Brazil. Journal of Climate, v. 26, p. 9137-9154

MARN. 2004. Programa de Acción Nacional de Lucha Contra La Desertificación y Mitigación de La Sequía de La República Bolivariana de Venezuela. Fondo Edit. Ed. Roberto Hidalgo. Caracas: Ministerio de Ambiente y de los Recursos Naturales de Venezuela.

Martínez, R.; Bolívar Z.; De Lisio, A.; Giraud, L.; Páez, L.; Villegas, I. 2018. Áreas Urbanas y Transporte. Capítulo 3 (pp: 323-356). En: Villamizar, A., E. Buroz Castillo, R. Lairet Centeno, J. A. Gómez. (Editores). Primer Reporte Académico de Cambio Climático 2018: Contribución de los Grupos de Trabajo I, II y III al Primer Reporte Académico de Cambio Climático (PRACC) de la Secretaría Académica de Cambio Climático (SACC) de la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales (ACFIMAN) de Venezuela. EDICIONES ACFIMAN – CITECI, Caracas, Venezuela.

Maynard-Ford, M.C.; Phillips, E.C.; Chirico, P.G. 2008, Mapping vulnerability to disasters in Latin America and the Caribbean, 1900–2007: U.S. Geological Survey Open-File Report 2008–1294, 30 p., available only online at https://pubs.usgs.gov/of/2008/1294.

McBean, G.; Rodgers, C. 2009. Climate Hazards and Disasters: the need for capacity building. Wiley Interdisciplinary Reviews, v. 1, n. 6, p. 871-884

McKee, T. B.; Doesken, N.J.; Kleist, J. 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. Proceedings of the Eighth Conference on Applied Climatology. American Meteorological Society. Boston, Massachusetts.pp. 179-184.

McKee, T.B.; Doesken N.J.; Kleist, J. 1995. Drought monitoring with multiple time scales -Preprints of the 9th Conference on Applied Climatology. Anaheim, California.

McPhaden, M. J. 1999. El Niño: The child prodigy of 1997–98. Nature398, 559–562

Mejía, J. 2013. Análisis temporal d ela sequía en Honduras, Indice estandarizado de precipitación (SPI). Tegucigalpa : IHCIT-UNAH.

Mendonca, M. 2017. Monzón Sudamericano: La Integración de la Circulación Amazónica y Altiplánica y las Variabilidades Climáticas del Altiplano Andino Chileno. Diálogo Andino. No.54. Arica. http://dx.doi.org/10.4067/S0719-26812017000300002

Methol, M.; Cortelezzi, A. 2017. Diseño de un registro de pérdidas y daños por eventos climáticos en el sector agropecuario. En: Anuario OPYPA-MGAP 2017. http://www.mgap.gub.uy/unidad-organizativa/oficina-de-programacion-y-politicas-agropecuarias/publicaciones/anuarios-opypa/2017

Methol, M.; Quintans, D. 2009. Políticas de Gestión de Riesgos Agroclimáticos. Anuario OPYPA 2009, artículo Nº 28. http://www.mgap.gub.uy/unidad-organizativa/oficina-de-programacion-y-politicas-agropecuarias/publicaciones/anuarios-opypa/2009.

Methol, M.; Sarquis, A. 2017. Fortalecimiento de los sistemas nacionales de gestión integral de riesgos de desastres que afectan al sector agropecuario. Una iniciativa regional del CAS. En: Anuario OPYPA-MGAP 2017. http://www.mgap.gub.uy/unidad-organizativa/oficina-de-programacion-y-politicas-agropecuarias/publicaciones/anuarios-opypa/2017

Meza, L..; Corso, S.; Soza, S. 2010. Gestión del riesgo de sequía y otros eventos climáticos extremos en Chile. Organización de Las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación – FAO, Santiago.

Meza, L.; Soza, S.; Valle, P. 2011. Propuesta de un modelo de gestión del riesgo agroclimático. Apoyo al Diseño e Implementación de un Modelo de Gestión del Riesgo Agroclimático.. Santiago.

MGAP-DIEA. 2011. Regiones Agropecuarias del Uruguay. Censo General Agropecuario 2011.

MIDENA, I. S. 2015. Memoria técnica de Clima e Hidrología. Quito-Ecuador: Instituto Espacial Ecuatoriano.

MINAM. 2010. El Peru y el cambio climatico. Segunda comunicacion Nacional del Peru a la Convencion marco de las Naciones Unidas sobre cambio climatico 2010.

MINAM. 2012. Memoria descriptiva. Mapa de tierras secas. disponible en: http://www.pdrs.org.pe/img_upload_pdrs/36c22b17acbae902af95f805cbae1ec5/MAPA_DE_TIERRAS_SECAS_DEL_PERU.pdf

MINAM. 2016. El Peru y el cambio climatico. Tercera comunicación nacional http://www.minam.gob.pe/cambioclimatico/wp-content/uploads/sites/11/2015/12/Tercera-Comunicaci%C3%B3n-Nacional-del-Per%C3%BA.pdf.

MINEA 2017. Segunda Comunicación Nacional Ante La Convención Marco de Las Naciones Unidas Sobre Cambio Climático. Fundación. ed. MINEA. Caracas: Ministerio del Poder Popular para Ecosocialismo y Aguas de Venezuela.

Minetti, J. L..; Vargas, W. M.; Poblete, A. G.; Acuña, L. R.; Casagrande, G. 2003. Non-linear trends and low frequency oscillations in annual precipitation over Argentina and Chile, 1931-1999. Atmósfera, 16(2), 119-135.

Minetti, J. L.; Vargas, W. M.; Poblete, A. G.; Bobba, M. E. 2010. Regional drought in the southern of South America - physical aspect. Revista Brasileira de Meteorologia, Vol. 25, num. 1, pp. 88-102.

Minetti, J.L., Vargas, W.M., Vega, B.; Costa M.C. 2007. Las Sequías en La Pampa Húmeda: Impacto en la productividad del maíz. Revista Brasileira de Meteorología 22: 228-232.

Ministerio de Agroindustria de la Nación Argentina: www.agroindustria.gob.ar. Consultada 26/6/ 2018

MMA. 2017. Plan de acción nacional del Cambio Climático 2017-2022. Ministerio de Medio Ambiente, Gobierno de Chile, Santiago.

MMAyA. 2016. FEWS BOLIVIA. Sistema de Pronóstico Hidrológico para Inundaciones. Cuenca media del río Mamoré. Edición MMAyA. Bolivia. Ministerio de Medio Ambiente y Agua, Bolivia

Montecinos, O. P. 2000. EL niño y la oscilación del sur. En Biología Marina y Oceanografía (Primera ed., págs. 197 -214). Santiago.

Mora, E. C. 2014. Climate changes of hydrometeorological and hydrological extremes in the Paute basin, Ecuadorean Andes. Hydrology and Earth System Sciences, 631-648. doi:10.5194/hess-18-631-2014.

Moura, A. D.; Shukla, J. 1981. On the Dynamics of Droughts in Northeast Brazil: Observations, Theory and Numerical Experiments with a General Circulation Model. Journal of the Atmospheric Sciences, v. 38, n. 12, p. 2653-2675, December

National Drought Mitigation Center. What is Drought? Understanding and Defining Drought. 2006. Disponível em: <http://www.drought.unl.edu/whatis/concept.htm>. Acesso em: 12 dez. 2016.

National Drought Policy: Summary and Major Outcomes. Weather Clim. Extrem. 2014, 3, 126–132.

NCAR-UCAR. 2018. Standardized Precipitation Index (SPI). Climate Data Guide. NCAR-ICAR. Disponible en: https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/standardized-precipitation-index-spi

NDMC. 2007. National Disaster Management Centre. Inaugural Annual Report 2006-2007. Provincial and Local Government Department. Pretoria, South Africa

Neciosup. 2015. Estudios nacionales y fuentes de informacion sobre el comportamiento del cambio climatico en el Perú durante la ultima decada. Lima: Congreso del Perú.

Neves, J. A. 2010. Um índice de susceptibilidade ao fenômeno da seca para o Semiárido nordestino. Tese de Doutorado em Matemática Computacional. UFPE, Recife-PE

Norbiato, D.; Borga, M.; Sangati, M.; Zanon, F. 2007. Regional frequency analysis of extreme precipitation in the eastern Italian Alps and the August 29, 2003 flash flood. Journal of Hydrology. Vol 345 (3-4): 149– 166

Novaes, R. L. M.; Felix, S.; Souza, R. F. 2013. Brazil: Save Caatinga from drought disaster. Nature, v. 498, p. 170

Núñez, J. 2013. Análisis de la aplicación del índice de caudal estandarizado bajo influencia de variabilidad climática multidecadal en la región Centro-Norte de Chile. Tesis para optar al grado de Doctor en Ingeniería Agrícola mención Recursos Hídricos en la Agricultura. Dpto. de Recursos Hídricos, Facultad de Ingeniería Agrícola, Universidad de Concepción, Chile.179 pp.

Núñez, J. 2015. Estado de la situación hídrica en Chile. Congreso Internacional de Cambio Climático Ambiental 2015.

Núñez, J. H.; Verbist, K.; Wallis, J. R.; Schaefer, M. G.; Morales, L.; Cornelis, W. M. 2011. Regional frequency analysis for mapping drought events in north-central Chile. Journal of Hydrology, 405(3-4), 352-366.

Núñez, J.; Hallack-Alegría,m M.; Cadena, M. 2016. Resolving regional frequency analysis of precipitation at large and complex scales using a bottom-up approach: The Latin America and the Caribbean Drought Atlas. Journal of Hydrology 538:515-538

Núñez, J.; Rivera, D.; Oyarzún, R.; Arumí, J. 2013. Influence of Pacific Ocean multidecadal variability on the distributional properties of hydrological variables in north-central Chile. Journal of Hydrology, 501, 227-240. doi:10.1016/j.jhydrol.2013.07.035

Núñez, J.; Rivera, D.; Oyarzún, R.; Arumí, J. 2014. On the use of Standardized Drought Indices under decadal climate variability: Critical assessment and drought policy implications. Journal of Hydrology, 517, 458-470. doi:10.1016/j.jhydrol.2014.05.038

Núñez, J.; Vergara, A.; Leyton, C.; Metzkes, C.; Mancilla, G.; Bettancourt, D. 2017. Reconciling Drought Vulnerability Assessment Using a Convergent Approach: Application to Water Security in the Elqui River Basin, North-Central Chile. Water, 9(8), 589. doi:10.3390/w9080589

ole-MoiYoi, O. 2013. Short- and Long-term Effects of Drought on Human Health. UNISDR, 30p. Available Online: [https://www.preventionweb.net/english/hyogo/gar/2013/en/bgdocs/oleMoiYoi,%202012.pdf]

Olivares, B.; Zingaretti, ML. 2018. Análisis de la sequía meteorológica en cuatro localidades agrícolas de Venezuela mediante la combinación de métodos multivariados. UNED Research Journal, 10 (1),181-192.

Olivares, B. 2017. La sequía meteorológica en territorios agrícolas de Venezuela: un análisis temporal del fenómeno meteorológico y su impacto en la agricultura venezolana. Saarbrücken, Alemania: Editorial Académica Española.

Olivares, B. O.; Cortez, A.; Lobo, D.; Parra, R. M.; Rey, B.; Juan, C.; Rodríguez, M. F. 2016a. Estudio de la Sequía Meteorológica en Localidades de los Llanos de Venezuela Mediante el Índice de Precipitación Estandarizado. Acta Nova, 7(3), 266-283.

Olivares, B. O.; Cortez, A.; Rodríguez, M. F.; Rey, J. C.; Lobo, D. 2016c. Desarrollo del sistema de información de la red de pluviómetros alternativos en medios rurales. Caso estado Anzoátegui, Venezuela. Acta Universitaria, 26(4), 44-55. doi: 10.15174/au.2016.961

Olivares, B.; Cortez, A.; Lobo, D.; Parra, R.; Rey, J.; Rodríguez, M. 2017. Evaluation of agricultural vulnerability to drought weather in different locations of Venezuela. Rev. Fac. Agron. (LUZ), 34 (1), 103-129.

Olivares, B.; Cortez, A.; Rodríguez, M.; Parra, R.; Lobo, D.; Rey, J.C. 2016b. Análisis temporal de la sequía meteorológica en localidades semiáridas de Venezuela. UGCiencia, 22 (1),11-24.

Olivares, B.; Hernández, R; Coelho, R.; Molina, JC.; Pereira, Y. 2018. Análisis espacial del índice hídrico: un avance en la adopción de decisiones sostenibles en territorios agrícolas de Carabobo, Venezuela. Revista Geográfica de América Central, 60 (1), 277-299.

OMM. 2014. Informe Análisis de la implementación de la gestión del riesgo de desastre en el Perú . Mision de Naciones Unidas

OMM / WMO. 2011. Guía de prácticas hidrológicas. OMM-No. 168, 6th edition 2011, Organización Meteorológica Mundial. Idioma: Español o Inglés.

OMM. 2012. Indice Normalizado de Precipitación. Guía del Usuario(1090). Ginebra Suiza.

O›Neill, B. C.; Oppenheimer, M.; Warren, R.; Hallegatte, S.; Kopp, R. E.; Pörtner, H. O.; Mach, K. J. 2017. IPCC reasons for concern regarding climate change risks. Nature Climate Change, 7(1), 28.

ONEMI. 2014. Política Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres. Oficina Nacional de Emergencia del Ministerio del Interior y Seguridad Pública. Gobierno de Chile, Santiago.

ONEMI. 2016. Plan Estratégico Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres 2015-2018. Oficina Nacional de Emergencia Ministerio del Interior y Seguridad Pública. Gobierno de Chile, Santiago.

ONEMI. 2018. Plataforma Nacional para la Reducción del Riesgo de Desastres. Oficina Nacional de Emergencia del Ministerio del Interior y Seguridad Pública. En línea: [http://www.onemi.cl/plataforma-de-reduccion-de-riesgos-de-desastres/]

OMM. 2012. Índice normalizado de precipitación-Guía del Usuario. OMM-No. 1090 . Ginebra, Suiza.

OSSO. 2018. Pérdidas por desastres de impacto extremo, grande y menor en Ecuador, 1970-2007. Comunidad Andina-Comisión Europea, 16.

Ovalles, F. A.; Cortéz, A.; Rodríguez, M. F.; Rey, J. C.; Cabrera-Bisbal, E. 2008. Variación geográfica en el impacto del cambio climático en el sector agrícola en Venezuela. Agronomía Tropical, 58(1), 37-40.

PACC. 2009. Estudio de vulnerabilidd actual a los riesgos climáticos en el sector de los recursos hídricos en las cuencas de los Ríos Paute, Jubones, Catamayo, Chone, Portoviejo y Babahoyo. Quito-Ecuador: Ministerio del Ambiente del Ecuador, Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo.

Palmer, W.C. 1965. Meteorological Drought, Office of Climatology. US Weather Bureau, Research Paper No. 45, Washington DC, 58 p. http://www.ncdc.noaa.gov/temp-and-precip/drought/docs/palmer.pdf

Paolino, C.; Methol, M.; Quintans, D. 2010. Estimación del impacto de una eventual sequía en la ganadería nacional y bases para el diseño de políticas de seguros. Anuario OPYPA-MGAP 2010. http://www.mgap.gub.uy/unidad-organizativa/oficina-de-programacion-y-politicas-agropecuarias/publicaciones/anuarios-opypa/2010

Paredes, F. J.; Barbosa, H. A.; Guevara, E. 2015. Spatial and temporal analysis of droughts in northeastern Brazil. Agriscientia, v. 32, p. 57-67

Paredes, F.; La Cruz, F.; Guevara, E. 2014. Análisis regional de frecuencia de las sequías meteorológicas en la principal región cerealera de Venezuela. Bioagro, 26(1), 21-28.

Paredes-Trejo, F.; Barbosa, H.; Moreno-Pizani, M.; Farías-Ramírez, A. 2018. Influencia de las sequías sobre el régimen hídrico de los ríos en Venezuela. Capítulo 9 (pp: 171-184). En: Rodríguez-Olarte, D. (Editor). Ríos en riesgo de Venezuela. Volumen 2. Colección Recursos hidrobiológicos de Venezuela. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado (UCLA). Barquisimeto, Lara. Venezuela.

Paredes-Trejo, F.; Guevara-Pérez, E.; Barbosa-Alves, H. 2016. Influencia del fenómeno El Niño sobre las sequías de gran cobertura en la cuenca del río Caroní, Venezuela. In XXVII Congreso Latinoamericano de Hidráulica, ed. Asociación Peruana de Ingeniería Hidráulica y Ambiental. Lima, Perú: Asociación Peruana de Ingeniería Hidráulica y Ambiental.

Paredes-Trejo, F.; Barbosa, H. 2017. Evaluation of the SMOS-Derived Soil Water Deficit Index as Agricultural Drought Index in Northeast of Brazil. Water, v. 9, n. 377. p. 1-21.

PCM. 2013. Ley del sistema nacional de gestión de destres y el plan nacional de gestión de desastres PLANAGERD 2014-2012. Secretaria de gestión del riesgo de desastres. Disponible: https://www.mef.gob.pe/contenidos/inv_publica/docs/eventos-taller/taller-internacional-03y04-julio-2014/files/segundo-dia/04-Ley-Sinagerd-y-el-Planagerd.pdf

Peel, M.; Wang, Q.; Vogel, R.; McMahon, T. 2001. The utility of L-moment ratio diagrams for selecting a regional probability distribution. Hydrological Sciences-Journal-des Sciences Hydrologiques. 46(1): 147-155

Peña, T. 2013. La Severidad de la Sequía en Honduras. Tegucigalpa : IHCIT-UNAH.

PNUD. 201). Gestión del riesgo climático para la agricultura en el Perú: enfoque en las regiones de Junin y Piura. Disponible en: http://www.iisd.org/pdf/2013/crm_peru.pdf

Prevention., 2018. The Knowledge Plattform for Risk reduction. https://www.preventionweb.net

Proceso Digital. (27 de agosto de 2015). El 48% de municipios golpeados por sequía en Honduras. Obtenido de http://proceso.hn/component/k2/item/108891-el-48-de-municipios-golpeados-por-sequía-en-honduras.html

Quintana, J. 2000. The Drought in Chile and La Niña. Drought Network News (1994-2001). 71. http://digitalcommons.unl.edu/droughtnetnews/71

Ravelo A.C.; Zanvettor, R.; Boletta, P.E. 2014. Atlas de Sequías de la República Argentina. CREAN ISBN 978-950-33-1195-0.

Ravelo, A.C.; Planchuelo, A.M.; Zanvettor, R.E.; Boletta, P.E.C. 2012. Atlas de las Sequías en Argentina. Actas de la XIV Reunión Argentina de Agrometeorología, Malargüe, Mendoza. 225-226.

Rayner, N.A.; Parker, D.E.; Horton, E.B.; Folland, C.K.; Alexander, L.V.; Rowell, D.P. 2003. Global analyses of sea surface temperature, sea ice, and night marine air temperature since the late nineteenth century. Journal of Geophysical Research 108(D14): 4407, DOI:10.1029/2002JD002670.

Rivadeneira, E. M. 2017. Evaluación temporal de sequías en la Hoya de Guayllabamba provincia de Pichincha Ecuador. Quito-Ecuador: Departamento de Ciencias de la Tierra y la Construcción DECTC. Carrera de Ingeniería Civil. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

Röhl, E. 1948. Los veranos ruinosos en Venezuela. Boletín de la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales, 11(32), 427-447.

Roja, C. 2009. Ecuador: Informático de sequía-Situación de sequía en Manabí. Manabí: Reliefweb.

Rotondo, V.H.; Seiler, R.A. 2002. Una estimación del efecto de las sequías en la producción agrícola en la provincia de Córdoba. Actas de la IX Reunión Argentina de Agrometeorología. Vaquerias Córdoba. 69-70.

Saldaña, A. 2010. Seguro agrario catastrofico campaña 2009-2010. Ministerio de agricultura.

Samaniego, J.; Galindo, L.M.; Alatorre, J.E.; Ferrer, J.; Gómez, J.J.; Lennox, J.; Reyes, O.; Sánchez, L.. 2015. La Economía del Cambio Climático en América Latina y el Caribe: Paradojas y Desafíos del Desarrollo Sostenible; CEPAL: Santiago, Chile

Sánchez, E. 2016. Cooperación Internacional en Desastres Naturales. Caso de Terremoto en Ecuador, Abril 2016. Guayaquil-Ecuador: Universidad de Guayaquil, Instituto Superior de Postgrado en Ciencias Internacionales «Dr. Antonio Parra Velasco», 75 pp.

Sandoval, J. 2003. El riego en Chile. Dirección de Obras Hidráulicas, Ministerio de Obras Públicas, Gobierno de Chile. Disponible en línea en: [http://www.doh.gov.cl/publicacionesyestudios/Documents/historia_del_riego_en_chile.pdf]

Santos, J. M. 2016. Lessons learned on facing the effects of extreme hydrometeorological events on agricultural systems and ecosystem services in Latin America. La Granja: Revista de Ciencas de la Vida., 69-82 pp. DOI:10.17163/lgr.n24.2016.06.

Scarpati, O.E.;Capriolo, A.D. 2016. Sequías agrícolas: recurrencia, clasificación y distribución en la Región Pampeana. Cuadernos Geográficos 55(1): 6-32. Universidad de Granada, España.

Schaefer, M.; Barker, B.; Taylo,r G.; Wallis, J. 2006. Regional precipitation-frequency analysis and spatial mapping for 24-hour and 2-hour durations in Estern Washington . Prepared for Washington State Department of Transportation. MGS Engineering Consultants, Inc and Oregon Climate Service.

Schaefer, M.; Barker, B.; Taylor, G.; Wallis, J. 2007. Regional precipitation-frequency analysis and spatial mapping for 24-hour precipitation for Oregon. MGC Engineering Consultants, Inc and Oregon Climate Service.

Schneider, U.; Becker, A.; Finger, P.; Meyer-Christoffer, A.; Rudolf, B.; Ziese, M. 2015. GPCC Full Data Reanalysis Version 7.0 at 0.5°: Monthly Land-Surface Precipitation from Rain-Gauges built on GTS-based and Historic Data.

Scott, C A.; Meza, F.; Varady, R.G.; Tiessen, H.; McEvoy, J.; Garfin, G.M. ... Montaña, E. 2013. Water Security and Adaptive Management in the Arid Americas. Annals of the Association of American Geographers, 103(2), 280-289. doi:10.1080/00045608.2013.754660

Segovia, M. P. 1968. Informe de la comisión conjunta que visitó las provincias de Loja, El Oro y Manabí, con el fin de observar los problemas producidos por la sequía. Quito: FAO-PNUD-PMA-JNPC.

Seiler, C.; Hutjes, R.; Kabat P. 2013. Variabilidad y Tendencias Climáticas en Bolivia. J. Appl. Meteor. Climatol., 52, 130-146.

Seiler, R.A.; Wehbe, M.B;. Tarasconi, I.E.; Granda, J.A. 2012. Sequía en el sur de Córdoba: Riesgo y Condicionantes para la Adaptación. Actas de la XIV Reunión Argentina de Agrometeorología, Malargue, Mendoza. 231-232.

Selby, J.; Dahi, O. S.; Fröhlich, C.; Hulme, M. 2017. Climate change and the Syrian civil war revisited. Political Geography, 60, 232-244. doi:10.1016/j.polgeo.2017.05.007

Sena, A.; Ebi, K.; Freitas, C.; Corvalan, C.; Barcellos, C. 2017. Indicators to measure risk of disaster associated with drought: Implications for the health sector. PLOS One, 2017.

SENAGUA. 2016. Plan Nacional de la gestión integrada e integral de los recursos hídricos de las cuencas y microcuencas hidrográficas de Ecuador. Quito-Ecuador: Changjiang Institute of Survey Planning Desing and Research.

SENAMHI. 2010. El Perú y el Cambio climático. Segunda Comunicación Nacional del Perú a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre cambio climático 2010.

Sivakumar, M.V.K.; Stefanski, R.; Bazza, M.; Zelaya, S.; Wilhite, D.; Magalhaes, A.R. 2014. High Level Meeting on National Drought Policy: Summary and Major Outcomes. Weather Clim. Extrem. 2014, 3, 126–132.

SGR. 2010. Estatuto Orgánico de Gestión organizacional por procesos de la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos. Registro Oficial, 1-40.

SGR. 2012. Informe de Gestión : Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos. Quito-Ecuador.

SGR. 2018. Plan Nacional de Respuesta ante Desastres: Secretaría de Gestión de Riesgos.

Shabri, A.; Jemain, A. 2006. Application of multicriteria method to identify the best-fit statistical distribution. Journal of Applied Sciences. Asian Network for Scientific Information 6(4):926-932,

Silva, N. P. N. et. al. 2009. Dinâmica espaço-temporal da vegetação no semi-árido de Pernambuco. Revista Caatinga, v. 22, n. 4, p. 195-205

Silva, R. M. A. 2006. Entre o combate à seca e a convivência com o Semiárido: transições paradigmáticas e sustentabilidade do desenvolvimento. Tese de Doutorado. UNB

SISMOLÓGICO DEL SUROCCIDENTE – OSSO. 2002. Los pasos de El Niño en Colombia 1980 – 2001: Algunas interpretaciones, oportunidades y utilizaciones. Cali, Colombia.

Sivakumar, M.V.K.; Stefanski, R.; Bazza, M.; Zelaya, S.; Wilhite, D.; Magalhaes, A.R. High Level Meeting on

SNGR, E. U. 2012. Ecuador: Referencia Básica para la Gestión de Riesgos. Quito-Ecuador: Secretaria Nacional de Gestión de Riesgos.

Soares, J M.; Buffa. I.; Porcile, V.; Malaquin, I.; Aguerre, J. 2018. Monitoreo y Análisis de la situación de déficit hídrico en ganadería. Revista INIA. N°52. pp 33-39

Sosa, J. 2016. Análisis de la sequía hidrológica en el Perú. disponible: http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/2491. Recuperado el 3 de 7 de 2018, d

Soto, D. 2013. Reporte Las condiciones de sequía y estrategias de gestión en el Perú. Disponible en: https://slideplayer.es/slide/3825123/.

Sousa Júnior, M. A.; Sausen, T. M.; LaCruz, M. S. P. 2010. Monitoramento de estiagem na região Sul do Brasil utilizando dados EVI/MODIS, no período de dezembro de 2000 a junho de 2009. São José dos Campos, SP: INPE

Stagge, J. H.; Tallaksen, L. M.; Gudmundsson, L.; Van Loon, A. F.; Stahl, K. 2015. Candidate Distributions for Climatological Drought Indices (SPI and SPEI). International Journal of Climatology, 35(13), 4027-4040. doi:10.1002/joc.4267

Stanke, C. *et al*. 2013. Health Effects of Drought: a Systematic Review of the Evidence. PLOS Currents Disasters, v. 5, n. 1, p. 1-38

Stedinger, J.R.; Vogel, R.; Foufoula-Georgiou, E. 1993. Frequency Analysis of Extreme Events, Chapter 18, Handbook of Hydrology, McGraw-Hill Book Company, David R. Maidment, Editor-in-Chief, 1993

Suárez, M.L.; Ghermandi, L.; Kitzberger, T. 2004. Factor predisposing episodic drought-induced tree mortality in Nothofagus: Site, climatic sensitivity and growth trends. Journal of Ecology 92:954-966.

Svensson, C.; Jones, D.A. 2010. Review of rainfall frequency estimation methods. Journal of Flood risk Management. 3 (2010) 296–313

Tallaksen, L. ; Hisdal, H. 1999. Methods of regional classification of stremflow droguht series: the EOF Method and L-moments. Technica Report N°2. http://www.hydrology.uni-freiburg.de/forsch/aride/navigation/publications/publications.htm

Taschetto, A. S.; Rodrigues, R. R.; Meehl, G. A.; McGregor, S.; England, M. H. 2016. How sensitive are the Pacific–tropical North Atlantic teleconnections to the position and intensity of El Niño-related warming? Climate Dynamics, 46(5-6), 1841-1860.

Terneus, A. G. 2006. In search of colonial El Niño events and a brief history of meteorology in Ecuador. Advances in Geosciences, European Geosciences Union, 6, 181-187. SRef-ID: 1680-7359/adgeo/2006-6-181.

Thomasz,, E. O.; Rondinone, G.; Vilker, A.; Eriz, M. 2017. El impacto económico de los eventos climáticos extremos en Argentina : El caso de la soja en la zona núcleo ¿Riesgo climático o déficit de infraestructura? http://bibliotecadigital.econ.uba.ar

Tim, N.; De Guenni, L. B. 2016. Oceanic influence on the precipitation in Venezuela under current and future climate. Climate Dynamics, 47(1-2), 211-234.

Tiscornia, G.; Cal, A.; Giménez, A. 2016. Análisis y caracterización de la variabilidad climática en algunas regiones de Uruguay. RIA. Revista de investigaciones agropecuarias, 42(1), 66-71.

Tolmos, C. 2013. Perú: Gestión del riesgo de desastres y adaptacion al cambio climatico. Banco Interamericano de desarrollo.

Tomaziello, A. C. N.; Carvalho, L. M.; Gandu, A. W. 2016. Intraseasonal variability of the Atlantic Intertropical Convergence Zone during austral summer and winter. Climate Dynamics, 47(5-6), 1717-1733.

Toro. 2011. Gestión del riesgo de desastre, edición para conferencia. Disponible: http://siteresources.worldbank.org/INTPERUINSPANISH/Resources/PN-Vol-II-SD-RiesgodeDesastre.pdf

Trejo, F. J. P.; Barbosa, H. A.; Peñaloza-Murillo, M. A.; Moreno, M. A.; Farías, A. 2016. Intercomparison of improved satellite rainfall estimation with CHIRPS gridded product and rain gauge data over Venezuela. Atmósfera, 29(4), 323-342.

Trejo, F. J. P.; Barbosa, H. A.; Ruiz, I. Q.; Peñaloza-Murillo, M. A. 2016. Meso scale oceanic atmospheric circulation patterns linked with severe and extensive droughts in Venezuela. Revista Brasileira de Meteorología, 31(4), 468-489.

Trivelli, C. 2005. Vulnerabilidad y shocks climáticos: el costo de la sequía para los productores agropecuarios de Piura y el Valle del Mantaro. Lima.

UNCCD-FAO-WMO, 2012b. Science document: best practices on national drought management policy. High Level Meeting on National Drought Policy (HMNDP). CICG, Geneva. 11–15 March 2013.

UNESCO. 2011. Manual de gestión del riesgo de desastre para comunicadores sociales.

UNESCO. 2010. Atlas de Zonas Áridas de América Latina y el Caribe. Dentro del marco del proyecto Elaboración del Mapa de Zonas Áridas, Semiáridas y Subhúmedas de América Latina y el Caribe. CAZALAC. Documentos Técnicos del PHI-LAC, N°25.

UNESCO. 2010. Guía metodológica para la aplicación del Análisis Regional de Frecuencia. Documentos Técnicos del PHI-LAC, N°27.

UNESCO. 2012. Análisis de riesgos de desastres en Chile, VII Plan de Acción DIPECHO 2011-2012.

UNESCO. 2015a. Water, People and Cooperation – 50 years of water programmes for sustainable development at UNESCO. REPORT from UN Educational, Scientific and Cultural Organization. 249 pp.

UNESCO. 2015b. Reducción del Riesgo de Desastres (RRD) Contribución de la UNESCO frente al desafío global. Sección de Ciencias de la Tierra y Reducción de Riesgos Sector de Ciencias Naturales, UNESCO

UNDESA. 2018. Opening Remarks, International High-Level Conference on the International Decade for Action "Water for Sustainable Development", 2018-2028. Mr. Liu Zhenmin Under-Secretary-General for Economic and Social Affairs. Available Online: [https://www.un.org/development/desa/statements/mr-liu/2018/06/hl-conf-water-for-action-sd.html]

UNGRD. 2016. Fenómeno El Niño: Análisis comparativo 1997 – 1998 / 2014 – 2016. Bogotá D.C., Colombia.

UNGRD. 2016. La Gestión del Riesgo de Desastres frente a los impactos por el Fenómeno El Niño en Colombia. (Presentación en PowerPoint).

UNGRD. 2016. Plan Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres, Una Estrategia de Desarrollo 2015-2025. Bogotá D.C., Colombia.

UNGRD. 2018. Estrategias de perspectivas estacionales de sequía para tomar decisiones apropiadas y oportunas en el campo de la agricultura y los recursos hídricos". Bogotá D.C., Colombia.

UNGRD. 2018. Evaluación inicial sobre el status quo de los sistemas de alerta temprana contra la sequía en Colombia. Bogotá D.C., Colombia.

UNGRD. 2018. Impactos de los eventos recurrentes y sus causas en Colombia. Bogotá D.C., Colombia.

UNICEF. (mayo de 2016). AHORA LO URGENTE: Impacto de la sequía en las niñas, niños y adolescentes del corredor seco de Honduras.

UNISDR. 2010. Diagnóstico de la situación de reducción del riesgo de desastres en Chile. Naciones Unidas.

UNISDR. 2009. Global assessment report on disaster risk reduction (2009). United Nations International Strategy for Disaster Reduction. 207 p

UNISDR. 2010. Diagnóstico de la situación de reducción del riesgo de desastres en Chile. Naciones Unidas.

UNISDR AM-AECID. 2016. Impacto de los desastres en América Latina y el Caribe 1990-2013. United Nations Office for Disaster Risk Reduction – Regional Office for the Americas (UNISDR AM)- Spanish Agency for International Development Cooperation (AECID), 70 p.

UNISDR. 2015. 2015: Disasters in numbers. Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres. 2 pp.

UNSC. 2018. Resolution 2408 (2018) Adopted by the Security Council at its 8215th meeting, on 27 March 2018. United Nations Security Council. S/RES/2408 (2018) Available Online: [https://www.un.org/press/en/2018/sc13264.doc.htm]

Valencia. 2015. Caracterización y estrategias de gestión de sequía en una cuenca árida de los Andes Peruanos. Arequipa.

Van Loon, A.F. ; Stahl, K.; Di Baldassarre, G.; Clark, J.; Rangecroft, S.; Wanders, N.; Gleeson, T.; A.I. VanDijk, J.M.; Tallaksen, L.M.; Hannaford, J.; Uijlenhoet, R.; Teuling, A.J.; Hannah, D.M.; Sheffield, J. ; Svoboda, M.; Verbeiren, B.; Wagener, T.; Van Lanen, H.A.J. 2016. Drought in a human-modified world: reframing drought definitions, understanding, and analysis approaches, Hydrol. Earth Syst. Sci., 20: 3631-3650

Van Vliet, M. T.; Wiberg, D.; Leduc, S.; Riahi, K. 2016. Power-generation system vulnerability and adaptation to changes in climate and water resources. Nature Climate Change, 6(4), 375-380. doi:10.1038/nclimate2903

Varas, E.; Bois, P. 1998. Hidrología Probabilística. Ed. Universidad Católica, Santiago, Chile. 1998.

Vargas, P. 2009. El cambio climático y sus efectos en el Perú. Lima: Banco Central de reserva del Perú.

Vásquez, I. L. P. et. al. 2017. Historical analysis of interannual rainfall variability and trends in southeastern Brazil based on observational and remotely sensed data. Climate Dynamics, v. 1, p. 1-24.

Velloso, A. L.; Sampaio, E. V. S. B.; Pareyn, F. G. C. 2002. Ecorregiões: propostas para o bioma Caatinga. Recife-PE: APN; The nature conservancy do Brasil

Verbist, K., Amani, A.; Mishra, A.; Jiménez-Cisneros, B. 2016. Strengthening drought risk management and policy: UNESCO International Hydrological Programme's case studies from Africa and Latin America and the Caribbean. Water Policy, 18 (S2) 245-261; DOI: 10.2166/wp.2016.223.

Vicario, L., García, Carlos M., Teich, Ingrid, Bertoni, Juan Carlos, Ravelo, Andrés, & Rodríguez, Andrés. 2015. Caracterización de las sequías meteorológicas en la región central de la Argentina. Tecnología y ciencias del agua, 6(1), 153-165.

VIDECI 2011. Plan Nacional de Contingencias. Componente: Sequías. Ministerio de Defensa, Viceministerio de Defensa Civil, Bolivia

Vicente-Serrano, S.; Begueira, S.; Lopez-Moreno, J. 2010. A multiscalar drought index sensitive to global warming: the Standardized Precipitation Evapotranspiration Index. Journal of Climate. Volume 23 No. 7. doi.org/10.1175/2009JCLI2909.1.

Vicente-Serrano, S.M.; Chura, O.; López-Moreno, J.I.; Azorin-Molina, C.; Sanchez-Lorenzo, A.; Aguilar, E.; Moran-Tejeda, E.; Trujillo, F.; Martínez, R.; Nieto, J.J. 2015. Spatio-temporal variability of droughts in Bolivia: 1955-2012. International Journal of Climatology 35: 3024-3040. https://doi.org/10.1002/joc.4190.

Vicente-Serrano, S. M. et. al. 2012. Performance of drought indices for ecological, agricultural, and hydrological applications. Earth Interactions, v. 16, n. 10, 1-27.

Vieira, R. D. S. P. et. al. 2015. Identifying areas susceptible to desertification in the Brazilian northeast. Solid Earth, v. 6, n. 1, p. 347-360.

Vogel, R.; Fennessey, M. 1993. L-moments diagrams should replace moment product diagrams. Water Resources Research.

Volpi, E.; Fiori, A.; Grimaldi, S.; Lombardo, F.; Koutsoyiannis, D. 2015. One hundred years of return period: Strengths and limitations. Water Resources Research, 51(10), 8570-8585. doi:10.1002/2015wr017820

Wallis, J., Schaefer, M.; Barker, B.; Taylor, G. 2007. Regional precipitation-frequency analysis and spatial mapping for 24-hour and 2-hour durations for Washington States. Hydrol. Earth Syst. Sci., 11(1): 415-442

Wang, W.; Ertsen, M. W.; Svoboda, M. D.; Hafeez, M. 2016. Propagation of drought: From meteorological drought to agricultural and hydrological drought. Adv. Meteorol., 2016, 1-5, doi: 10.1155/2016/6547209.

Wang, Q. 2014. Temporal spatial characteristics of severe drought events and their impact on agriculture on a global scale. International Quaternary, 10-21.

Wartenburger, R.; Hirschi, M.; Donat, M. G.; Greve, P.; Pitman, A. J.; Seneviratne, S. I. 2017. Changes in regional climate extremes as a function of global mean temperature: an interactive plotting framework. Geoscientific Model Development, 10(9), 3609.

Web INIA-GRAS, Balance hídrico. http://www.inia.uy/gras/Monitoreo-Ambiental/Balance-Hídrico/Balance-hídrico-suelos-Uruguay

Web INIA-GRAS, Precipitación acumulada http://www.inia.uy/gras/Clima/Precipitación-nacional/Mapas-de-precipitación-acumulada

WHO. 2014. Gender, Climate Change and Health. World Health Organization.

Wilhite, D. 2012. Breaking the hydro-illogical cycle: Changing the paradigm for drought management. EARTH Magazine, 57(7), 71–72.

Winsemius, Hessel C.; Jongman, Brenden; Veldkamp, Ted I.E.; Hallegatte, Stephane; Bangalore, Mook; Ward, Philip J.. 2015. Disaster risk, climate change, and poverty : assessing the global exposure of poor people to floods and droughts. Policy Research Working Paper 4780. World Bank Group. Development Economics Climate Change Cross-Cutting Solutions Area

WMO. 2012. Standardized Precipitation Index User Guide. World Meteorological Organization. United Nations.

WMO-GWP. 2017. Integrated Drought Management Programme (IDMP) Activity Report 2016-2017 and Work Programme 2017-2019. August 2017 Geneva, Switzerland

Wu, H.; Svoboda, M.D.; Hayes, M.J.; Wilhite, D.A.; Wen, F, 2007. Appropriate application of the standardized precipitation index in arid locations and dry seasons. Int. J. Climatol. 27, 65–79.

Yurekli, K.; Anli, A. 2008. Analyzing Drought Based on Annual Total Rainfalls over Tokat Province. International Journal of Natural and Engineering Sciences 2 (2): 21-26

Zanvettor, R. E.; Ravelo, A.C. 2000. Using the SPI to Monitor the 1999-2000 drought in Northeastern Argentina. Drought Network News. International Drought Information Center and the National Drought Mitigation Center, University of Nebraska-Lincoln, USA. 12 (3): 3-4.

Zanvettor, R. E.; Ravelo, A.C.; Thomasz, E.O.; Sánchez, S. 2017. Evaluación agroclimática y económica de los efectos adversos de los excesos hídricos en la región pampeana argentina. Revista Argentina de Agrometeorología, Vol.8, 1-13

Zargar, A.; Sadiq, R.; Naser, B.; Khan, F. 2011. A review of drought indices. Environ. Rev. 19, 333–349.

INFORMACIÓN DE CONTACTO:

CAZALAC

Centro del Agua para Zonas Áridas y Semiáridas de América Latina y El Caribe

CENTRO DEL AGUA PARA ZONAS ÁRIDAS Y SEMIÁRIDAS DE AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE (CAZALAC)

BENAVENTE 980,
LA SERENA, CHILE
TEL: + 56 51 220 4493

cazalac@cazalac.org – www.cazalac.org

COORDINACIÓN:
Jorge Nuñez Cobo, **jnunez@cazalac.org**

UNESCO

Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura

Programa Hidrológico Internacional

PROGRAMA HIDROLÓGICO INTERNACIONAL (PHI)

UNESCO / DIVISIÓN DE CIENCIAS DEL AGUA
7, PLACE DE FONTENOY
F-75352 PARIS 07 SP
TEL : +33 1 45 68 40 01

ihp@unesco.org – www.unesco.org/water/ihp

COORDINACIÓN:
Koen Verbist, UNESCO-IHP, **k.verbist@unesco.org**

9 789233 000971