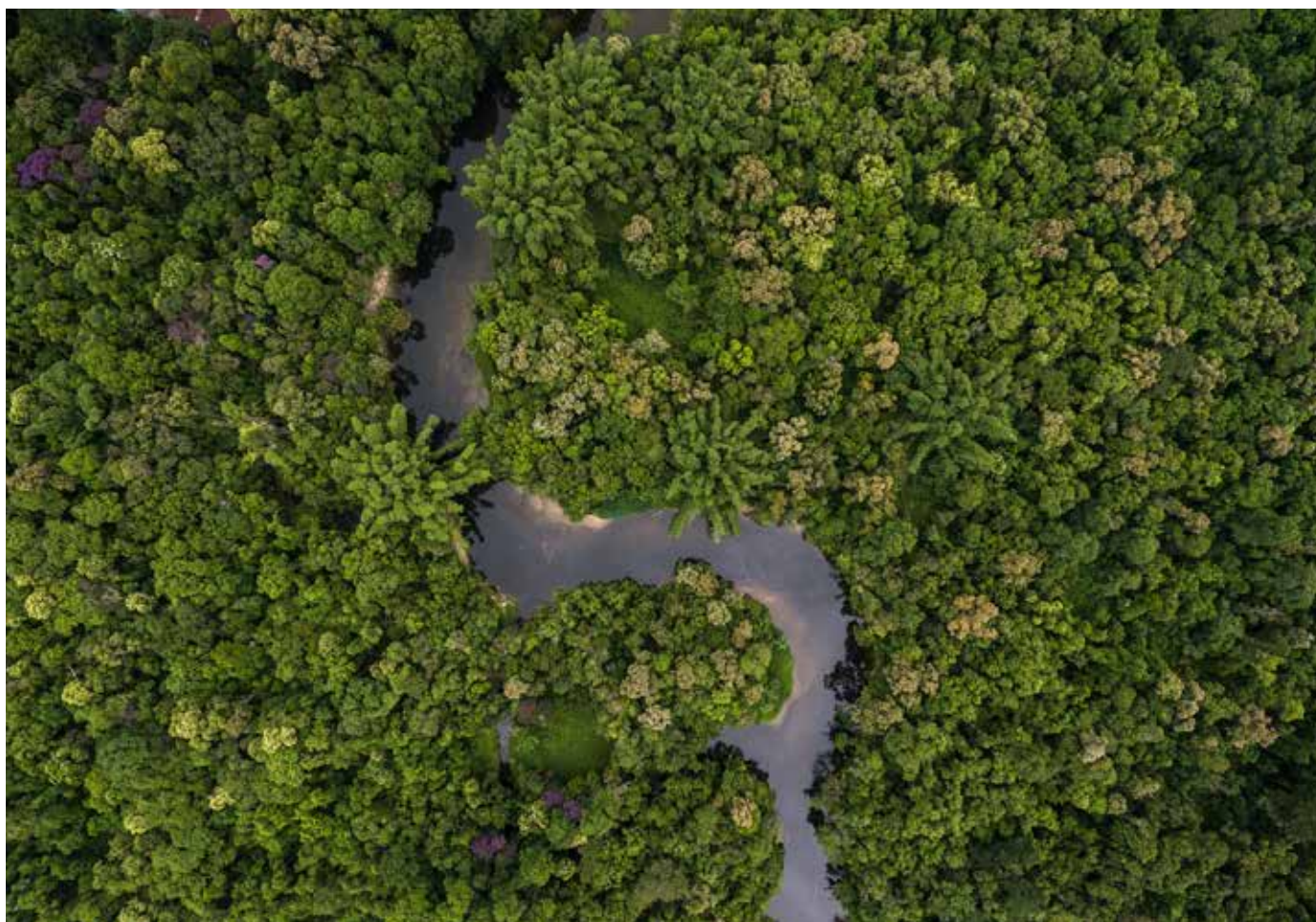


Una revisión de los datos geospaciales e indicadores a disposición del público en apoyo al monitoreo de la sequía

Narcisa G. Pricope y Kerry L. Mapes (Universidad de Carolina del Norte – Wilmington), Kevin M. Mwenda (Universidad de Brown), Susanne H. Sokolow (Universidad de Stanford y Universidad de California – Santa Bárbara), y David Lopez-Carr (Universidad de California – Santa Bárbara)





Tools4LDN Informe Técnico del Avance de Monitoreo hacia el
Objetivo Estratégico 3 de la CNULD

Una revisión de los datos geoespaciales e indicadores a disposición del público en apoyo al monitoreo de la sequía¹

Narcisa G. Pricope y Kerry L. Mapes (Universidad de Carolina del Norte –
Wilmington), Kevin M. Mwenda (Universidad de Brown), Susanne H. Sokolow
(Universidad de Stanford y Universidad de California – Santa Bárbara), y David
Lopez-Carr (Universidad de California – Santa Bárbara)

Revisores: Mariano Gonzalez-Roglich (Conservación Internacional), Antje
Hecheltjen (Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ)),
Hanspeter Liniger (Reseña Mundial de Enfoques y Tecnologías de la Conservación),
Graham Maltitz (Consejo para la Investigación Científica e Industrial – Pretoria),
Sara Minelli (Secretaría de la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra
la Desertificación), Monica Noon (Conservación Internacional), Waltraud Ederer
(GIZ), Neil Sims (Organización de Investigación Científica e Industrial de la
Mancomunidad), Vivek Vyas (anteriormente Programa de Fijación de Objetivos de
Neutralidad de la Degradación de la Tierra para la CNULD, India para CNULD) y
Alex Zvoleff (Conservación Internacional)

¹ Este informe ha sido elaborado como un resultado del proyecto financiado por el Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM): «Fortalecimiento de los datos y la toma de decisiones sobre la Neutralidad de la degradación de la tierra a través de las plataformas de acceso libre y abierto». Para mayor información sobre el proyecto, sírvase ir a <https://www.tools4ldn.org/>. Este proyecto es una colaboración de Conservación Internacional, la Universidad de Berna, la Universidad de Colorado y la Universidad de California en Santa Bárbara.

Siglas y acrónimos

ACP	Análisis de componentes principales	CPC	Centro de Predicciones Climáticas
AVHRR	radiómetro avanzado de muy alta resolución	CRU	Unidad de Investigación Climática
AVHRR HRPT	sistema de transmisión de imágenes de alta resolución del AVHRR	CRUTEM	Datos de temperatura de la Unidad de Investigación Climática
BETP	producto de temperatura de la Tierra de Berkeley	DDTS	Desertificación, degradación de la tierra y sequía
BWS	estrés hídrico de línea base	DEA	Análisis envolvente de datos
CCD	persistencia de nubes frías	DIMAQ	Modelo de integración de datos para la calidad del aire
CCI	Centro Común de Investigación de la Comisión Europea	DSC	días secos consecutivos
CCI-SM	Producto de humedad del suelo de la Iniciativa sobre el Cambio Climático	DVI	Índice de vulnerabilidad a la sequía
CDI	indicador combinado de sequía	EDO	Observatorio Europeo de la Sequía
CDP	Conferencia de las Partes	EDS	Encuestas demográficas y de salud
CEPMMP	Centro Europeo de Previsiones Meteorológicas a Medio Plazo	EEUU	Estados Unidos
CHANS	sistemas humanos y naturales acoplados	EIRD	Estrategia Internacional de las Naciones Unidas para la Reducción de Desastres
CHIRPS	Datos de precipitaciones de estaciones con infrarrojos del Grupo de Riesgos Climáticos	EnKF	Filtro de Kalman ensamblado
CHIRTS	Datos de temperatura de estaciones con infrarrojos del Centro de Riesgos Climáticos	ENOS	El Niño-Oscilación del Sur
CHRS	Centro de Hidrometeorología y Teledetección	ERA5	Reanálisis versión 5 del Centro Europeo de Previsiones Meteorológicas a Medio Plazo
CIAT	Centro Internacional de Agricultura Tropical	ERA-Interim	Reanálisis interino del Centro Europeo de Previsiones Meteorológicas a Medio Plazo
CIC	capacidad de intercambio catiónico	ERSST	Temperatura de la superficie del mar reconstruida extendida
CIESIN	Centro para la Red Internacional de Información sobre Ciencias de la Tierra	ESA CCI	Iniciativa sobre el Cambio Climático de la Agencia Espacial Europea
CMAP	Análisis combinado de precipitación del Centro de Predicciones Climáticas	ESA CCI-LC	ESA CCI-Cobertura de la Tierra
CMCP	Centro Mundial de Climatología de las Precipitaciones	ESA CCI-SM	ESA CCI-humedad del suelo
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático	ESRI	Instituto de Investigación de Sistemas Ambientales
CMORPH	Técnica (de transformación) MORPH del CPC	ETP	Evapotranspiración potencial
CMVC	Centro Mundial de Vigilancia de la Conservación	ETR	evapotranspiración real
CMVC-PNUMA	Centro Mundial de Vigilancia de la Conservación del PNUMA	EUA	Eficiencia en el uso del agua
CNULD	Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación	EVI	Índice de vegetación mejorado
		FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
		FAOSTAT	Estadísticas globales de alimentos y agricultura de la FAO
		FEWS NET	Red de sistemas de alerta temprana contra la hambruna
		FIES	Encuesta sobre experiencias de inseguridad alimentaria
		FMAM	Fondo para el Medio Ambiente Mundial

Siglas y acrónimos

FR	Resolución completa	IFPRI	Instituto Internacional de Investigación sobre Políticas Alimentarias
GDI	Índice global de sequía	IHME	Instituto de Métricas y Evaluación de la Salud
GDO	Observatorio Global de la Sequía	IIH	Índice de influencia humana
G-Econ	Datos económicos globales cuadrículados geográficamente	IMERG	Recuperación integrada de múltiples satelitales para GPM
GHCN	Red de Climatología Histórica Global	IPC	Clasificación integrada de las fases de seguridad alimentaria
GHCN-M	Revista mensual de la Red de Climatología Histórica Global	IPCC	Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático
GHS-BUILT	Capa Global de Asentamientos Humanos Acumulada	IPM	Índice de pobreza multidimensional
GHSL	Capa Global de Asentamientos Humanos	IPP	Índice de probabilidad de la pobreza
GHS-POP	Capa Global de Asentamientos Humanos Población	IR	Infrarrojo
GHS-SMOD	Capa Global de Asentamientos Humanos Modelo de asentamientos	IRM	Instituto de Recursos Mundiales
GIDMaPS	Sistema global integrado de predicción y control de la sequía	ISRIC	Centro Internacional de Referencia e Información en Suelos
GIMMS	Sistema global de monitoreo y modelado de inventario	ISSP	Índice de severidad de la Sequía de Palmer
GISS	Instituto Goddard de Estudios Espaciales	IV	Índice de vegetación
GISTEMP	Análisis de la temperatura superficial del Instituto Goddard de Estudios Espaciales	JMP	Programa de Monitoreo Conjunto OMS/ UNICEF
GLW	Datos organizados de ganado a nivel mundial	LCCS	Sistema de clasificación de la cobertura de la tierra
GMAO	Oficina Global de Modelado y Asimilación	LSM	Modelos de superficie terrestre
GMAS	Sistema mundial de alerta multirriesgo	MER	Tipo de cambio del mercado
GOES	Sistema Goddard de Observación de la Tierra	MERIS	Espectrómetro de imágenes de resolución media
GPCP	Proyecto Global de Climatología de las Precipitaciones	MERRA-2	Análisis retrospectivo de la Era Moderna para investigación y aplicaciones, versión 2
GPM	Medición de la precipitación global	MISR	Espectrorradiómetro generador de imágenes multiángulo
GPWv4	Población mundial cuadrículada, versión 4	MLOST	Análisis combinado de la temperatura de la superficie Tierra-Océano
GRACE	Experimento de clima y recuperación gravitatoria	MODIS	Espectrorradiómetro de imágenes de resolución moderada
GRUMP	Proyecto de mapeo urbano-rural global	MRLC	Características de la tierra con resolución múltiple
GSMaP	Mapa satelital mundial de las precipitaciones de la Agencia Japonesa de Exploración Aeroespacial	MSAVI	Índice de vegetación ajustado al suelo modificado
GWR	Regresión ponderada geográficamente	MSDI	Índice estandarizado multivariado de sequía
HDR	Informe sobre el desarrollo humano	NASA	Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio
IDH	Índice de desarrollo humano	NCEP	Centros Nacionales de Predicción Ambiental
IDM	Indicadores del desarrollo mundial		
IFL	Paisajes Forestales Intactos		

Siglas y acrónimos

NDT	Neutralidad de la degradación de la tierra	SLM	Gestión sostenible de la tierra
NDVI	Índice de diferencia de vegetación normalizado	SMAP	Humedad del suelo Activa Pasiva
NOAA	Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica	SMHN	Servicios Meteorológicos e Hidrológicos Nacionales
NSPI	SPI no estacionario	SMOS	Humedad del suelo Salinidad del Océano
ODS	Objetivo(s) de desarrollo sostenible	SPEI	Índice estandarizado de precipitación y evapotranspiración
OE	Objetivo Estratégico	SPI	Índice estandarizado de precipitación
OMM	Organización Meteorológica Mundial	SPI-GEV	Valor extremo generalizado del SPI
OMS	Organización Mundial de la Salud	SPOT	Satélite para la observación de la Tierra
ONU	Organización de las Naciones Unidas	SSFI	Índice normalizado de los caudales fluviales
OPHI	Iniciativa sobre pobreza y desarrollo humano de Oxford	SSI	Índice estandarizado de humedad del suelo
ORNL	Laboratorio Nacional Oak Ridge	TIR	Infrarrojo térmico
PBMI	Países de bajos y medianos ingresos	TRMM	Misión de Medición de Lluvias Tropicales
PERSIANN	Estimación de la precipitación a partir de información de detección remota utilizando redes neuronales artificiales	TSM	Temperatura de la superficie del mar
PERSIANN-CDR	Registro de datos climáticos con PERSIANN	UICN	Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza
PIB	Producto Interno Bruto	UNDRR	Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres
PMW	Microondas pasivo	UNESCO	Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura
PNUD	Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo	UNICEF	Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia
PNUMA	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente	UNPD	División de Población de las Naciones Unidas
POA	profundidad óptica de aerosoles	USAID	Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional
PPA	Paridad del poder adquisitivo	USAPI	Islas del Pacífico Asociadas a los Estados Unidos
PPNA	productividad primaria neta aérea	USDA	Departamento de Agricultura de los Estados Unidos
PROBA-V	Proyecto de autonomía a bordo-Vegetación	VAM-PMA	Mapeo y evaluación de vulnerabilidad del Programa Mundial de Alimentos
RADI	Índice de sequía en zona de embalse	VCE	Variable climática esencial
RR	Resolución reducida	WASH	Agua, saneamiento e higiene
RZSM	Humedad del suelo en la zona radicular	WDPA	Base de datos mundial sobre áreas protegidas
scPDSI	Índice autocalibrado de severidad de la Sequía de Palmer	WGI	Indicadores mundiales de gobernanza
SDVI	Índice estandarizado de vulnerabilidad a la sequía	WOCAT	Reseña Mundial de Enfoques y Tecnologías de la Conservación
SeaWiFS	Sensor de visualización marina de campo amplio de visión	WWAP	Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos
SEDAC	Centro de Datos y Aplicaciones Socioeconómicas		
SES	Sistema ecológico-social		

Resumen Ejecutivo

La plataforma geoespacial abierta de Trends.Earth fue creada en 2018 por Conservación Internacional como parte del proyecto “Facultar el uso de fuentes de datos globales para evaluar y monitorear la degradación de la tierra en múltiples escalas”, financiado por el Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM).

La plataforma geoespacial abierta de Trends.Earth fue creada en 2018 por Conservación Internacional como parte del proyecto “Facultar el uso de fuentes de datos globales para evaluar y monitorear la degradación de la tierra en múltiples escalas”, financiado por el Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM). El objetivo de crear Trends.Earth fue de simplificar, agilizar y mejorar la capacidad de los países miembros de la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación (CNULD, también llamada CLD) de reportar su estatus y los avances en el logro de la neutralidad de la degradación de la tierra (NDT). Tras la recepción favorable de la plataforma Trends.Earth por los países Partes de la CNULD, había una necesidad expresa de ampliar sus funcionalidades para apoyar la comprensión de las interacciones socio-ambientales entre sequía, degradación de la tierra y pobreza a través del proyecto Herramientas para la Neutralidad de la Degradación de la Tierra (Tools4LDN) con el fin de apoyar el monitoreo y la presentación de informes sobre los objetivos estratégicos (OE) antes del ciclo de informes 2021-2022 de la CNULD en apoyo al Marco Estratégico 2018-2030 de la CNULD.²

Este informe se centra específicamente en dar apoyo al monitoreo y los reportes para el OE3 según fue adoptado en la Conferencia de las Partes (CDP) de la CNULD en su 14ª sesión³:

Objetivo Estratégico 3: Mitigar, gestionar y adaptarse a los efectos de la sequía a fin de aumentar la resiliencia de los ecosistemas y las poblaciones vulnerables

Efecto previsto 3.1: Se reduce la vulnerabilidad de los ecosistemas a la sequía, entre otras cosas, mediante prácticas de gestión sostenible de las tierras y el agua.

Efecto previsto 3.2: Aumenta la resiliencia de las comunidades a la sequía.

Para lograr este objetivo: 1) proporcionamos un marco introductorio y desarrollamos marcos conceptuales para la

evaluación de enfoques de estimación de la vulnerabilidad ecológica y socioeconómica a la sequía y su interacción con la degradación de la tierra; 2) presentamos un resumen de las bases de datos e índices para el monitoreo del OE3; y 3) recomendaremos mejores prácticas para un análisis de datos integrado orientado a un abordaje de monitoreo integral del OE3 con un enfoque en la mejora de la herramienta de monitoreo Trends.Earth.

Conscientes de la estructura de monitoreo para el OE3, nuestra recomendación general es, en resumen, que Trends.Earth apoye un marco global para el monitoreo de la sequía y la degradación de la tierra basado en la exposición de los ecosistemas y las poblaciones al riesgo de sequía y que capture los factores de los componentes sociales, de infraestructura, económicos y ecosistémicos o ambientales que son vulnerables (es decir, que pueden verse afectados adversamente por la sequía climática, la degradación de la tierra o la retroalimentación mutua entre ambas). En la medida de lo posible y si se dispone de los datos, recomendamos que los productos utilizados sean contemporáneos, organizados espacialmente en cuadrículas (o a nivel subnacional) y disgregables por género, y que los indicadores seleccionados sean genéricos y válidos para cualquier región.

Los esfuerzos para estandarizar y mejorar la evaluación de los avances en los reportes sobre la neutralidad de la degradación de la tierra para el Marco Estratégico de la CNULD en relación con la vulnerabilidad a la sequía están actualmente impedidos por la falta de un marco integrativo unificado sobre la vulnerabilidad dentro del OE3 y un acuerdo sobre los índices y bases de datos más apropiados por incluirse. Este informe revisa los productos disponibles que pueden soportar un reporte más detallado de las interacciones entre la degradación de la tierra, la sequía y los factores socioeconómicos a medida que contribuyen al desarrollo de comunidades y ecosistemas vulnerables; por otra parte, determina como se puede monitorear una gestión sostenible de las tierras y del agua para mejorar la resiliencia de la comunidad y los ecosistemas.

2 Véase la Decisión 7/COP.13: https://www.unccd.int/sites/default/files/sessions/documents/2019-08/7COP13_0.pdf

3 Véase la Decisión 11/COP.14: <https://www.unccd.int/sites/default/files/sessions/documents/2019-11/11-cop14.pdf>

Proporcionar datos geospaciales globales consistentes a los países Partes de la CNUCLD ha reducido significativamente la barrera de informes y la carga sobre los esfuerzos que se han hecho hacia la NDT[1]. Los productos de conocimiento público ofrecen el método más rentable para monitorear y evaluar los cambios a gran escala de la superficie de la tierra. Varios productos espacialmente explícitos a una resolución espacial relativamente fina han estado disponibles en las últimas décadas sin costo para los usuarios finales.

Las siguientes secciones de este informe proporcionan una introducción breve (Parte I) y los antecedentes que indican la necesidad del informe (Parte II); luego desarrolla los marcos conceptuales (Parte III) y presenta los índices y productos recomendados y sus detalles (Partes IV y V) para su integración en Trends.Earth; finalmente, ofrece una estrategia para la integración de datos biofísicos y socioeconómicos (Parte VI) para entender las dimensiones humanas y ecosistémicas de la sequía y la degradación de la tierra.

La Parte III se centra en un enfoque integrativo para los tres niveles del indicador y del marco de monitoreo del OE3 adoptado por la CNUCLD: Nivel I (Riesgo), Nivel II (Exposición) y Nivel III (Vulnerabilidad). La sección de Riesgos revisa los índices de riesgo de sequía y los productos climáticos y meteorológicos globales que se pueden emplear para comprender mejor la interacción entre la sequía y la degradación de la tierra (y viceversa), incluidos los indicadores que usan la precipitación, humedad del suelo y cambios de temperatura, e incluye recomendaciones de productos e índices para priorizar el monitoreo de Riesgos para el OE3.

La sección sobre Exposición de la Parte III del informe desarrolla un abordaje de dos factores para evaluar la exposición de la sequía de los ecosistemas y las poblaciones. En primer lugar, se presenta una síntesis de los productos sobre la población mundial (como los de WorldPop y el Centro para la Red Internacional de Información sobre Ciencias de la Tierra o CIESIN) y se discute la posibilidad de su desglose por género o poblaciones urbanas/rurales. También se informa acerca de los productos y marcos para el monitoreo del Nivel II de Exposición a la sequía que va más allá de solo las estimaciones de población, como los productos que tienen en cuenta la agricultura, densidad de ganadería y demanda de agua, así como las amenazas a la salud asociadas con la materia particulada fina en el aire exacerbada por la sequía, la degradación de la tierra y las tormentas de polvo. Por último, se presenta un nuevo indicador de exposición ecosistémica basado en las clases de cobertura de la tierra utilizadas por los países Partes en el Objetivo Estratégico 1 de Informes, lo que permite el uso de productos globales o nacionales sobre el aprovechamiento/la cobertura de la tierra

calculado de manera que sea armonioso con el indicador actual de Nivel 2 de Exposición humana.

La sección sobre Vulnerabilidad de la Parte III se mueve hacia un marco integral de monitoreo de la vulnerabilidad a la sequía, con recomendaciones sobre productos socioeconómicos y ambientales disponibles a nivel mundial desglosados por género, y proporciona recomendaciones para bases de datos e índices prioritarios para el monitoreo de la vulnerabilidad a la sequía tanto humana como ecosistémica en el contexto del OE3.

La Parte IV presenta una descripción detallada de los índices relevantes de riesgo a la sequía y una revisión de la literatura científica y las metodologías para determinar la vulnerabilidad a la sequía tanto humana como ecosistémica.

En la Parte V se discuten criterios de inclusión y exclusión para los productos espacialmente explícitos de acceso libre pertinentes al OE3, y se proporcionan los detalles, metadatos, resolución espacial, fortalezas y debilidades de cada producto recomendado (y algunos adicionales pertinentes). Los productos revisados e incluidos cumplen con los criterios de inclusión generales de Fidelidad al OE3, comparabilidad, validez y confiabilidad de los datos, preparación/adaptabilidad, cobertura global, resolución espacial, rango temporal adecuado, resolución temporal adecuada, tipos de datos apropiados, viabilidad de integración con Trends.Earth (o facilidad de manejo) y frecuencia adecuada de actualización. Se resumen los productos de datos y los índices de libre acceso en relación con el monitoreo biofísico de la amenaza de sequía (por ejemplo: temperatura, humedad del suelo y precipitación), la exposición (por ejemplo: población, ganado, demanda de agua, asentamientos rurales vs. urbanas, riesgos a la salud asociados con la materia particulada transportada por el aire) y vulnerabilidad (como encuestas demográficas y de salud, pobreza y los índices de vulnerabilidad a la sequía que se han utilizado previamente en el país o a escala regional, pero que podrían adaptarse a un caso de uso más espacialmente explícito, cuadrículado y global, con tal de que pueda validarse en el futuro).

La última sección del informe (Parte VI) recomienda abordajes para la integración de las diversas bases de datos e índices sobre Riesgo, Exposición y Vulnerabilidad a fin de monitorear los subobjetivos OE3.1 « Se reduce la vulnerabilidad de los ecosistemas a la sequía » y OE3.2 « Aumenta la resiliencia de las comunidades a la sequía ». La Parte VI también aborda las limitaciones de monitoreo del OE3 y considera las posibilidades futuras para un monitoreo integrado mejor a escala nacional e internacional, incluyendo el potencial de datos innovadores y el uso de la estadística espacial para mejorar los datos disponibles en la actualidad.

Contenido

I RESEÑA DEL INFORME	14
I.1 INTRODUCCIÓN	14
I.1.1. La sequía y la degradación de la tierra.....	14
I.1.2. Trends.Earth.....	17
I.1.3. El Marco Estratégico de la CNULD.....	17
I.2 OBJETIVOS DEL INFORME	19
II ANTECEDENTES.....	20
II.1 DEFINICIÓN DE VULNERABILIDAD Y RESILIENCIA AL CAMBIO CLIMÁTICO Y LA DDTS.....	20
II.2 INTRODUCCIÓN A LOS TIPOS DE SEQUÍA Y ABORDAJES DE MONITOREO	23
II.3 RESUMEN DEL TRABAJO DE LA CNULD, LA OMM Y CONSERVACIÓN INTERNACIONAL A LA FECHA... 26	
II.3.1. Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación (CNULD).....	26
<i>II.3.1.1 Antecedentes.....</i>	<i>26</i>
<i>II.3.1.2 Brechas y oportunidades relacionadas con el OE3.....</i>	<i>27</i>
II.3.2. Organización Meteorológica Mundial (OMM).....	27
II.3.3. Conservación Internacional	29
III RECOMENDACIONES DEL MARCO DE MONITOREO PARA EL OE3: AMENAZA, EXPOSICIÓN Y VULNERABILIDAD A LA SEQUÍA	30
III.1 ABORDAJE PROPUESTO PARA EL MONITOREO DE LA SEQUÍA	30
III.2 MONITOREO DE LA AMENAZA DE SEQUÍA (NIVEL I)	31
III.2.1. Recomendaciones sobre los índices de amenaza de sequía.....	31
III.2.2. Recomendaciones acerca de los productos sobre precipitación, temperatura y humedad del suelo.....	32
III.2.3. Consideraciones adicionales sobre como monitorear la amenaza de sequía.....	34
III.3 MONITOREO DE LA EXPOSICIÓN A LA SEQUÍA (NIVEL II).....	35
III.3.1. Recomendaciones sobre los productos poblacionales para el monitoreo de la exposición humana a la sequía.....	35
III.3.2. Consideraciones y recomendaciones adicionales para monitorear la exposición de la población a la sequía.....	37
<i>III.3.2.1 Agricultura, densidad de ganado y demanda de agua como indicadores adicionales para la exposición a la sequía... 37</i>	
<i>III.3.2.2 Efectos sobre la salud humana: Mortalidad global y enfermedades respiratorias atribuibles a la contaminación del aire ambiente y otros riesgos debido a la degradación de la tierra, la sequía y las tormentas de polvo</i>	<i>41</i>
<i>III.3.2.3 Exposición ecosistémica: un componente pasado por alto del Marco de Monitoreo de la Sequía de la CNULD.....</i>	<i>42</i>

Contenido

III.4 MONITOREO DE LA VULNERABILIDAD A LA SEQUÍA (NIVEL III): HACIA UN INDICADOR INTEGRAL DE VULNERABILIDAD A LA SEQUÍA.....	42
III.4.1. Reseña de los índices de vulnerabilidad a la sequía existentes: fortalezas y limitaciones.....	42
III.4.2. Recomendaciones para avanzar hacia un marco integral de monitoreo de la vulnerabilidad a la sequía, a partir de datos disgregables por género y espaciales	44
III.5 RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES GENERALES: INTEGRACIÓN DE LOS ÍNDICES DE AMENAZA, EXPOSICIÓN Y VULNERABILIDAD PARA MONITOREAR LOS IMPACTOS ESPERADOS DEL OE3	47
IV ÍNDICES PERTINENTES	50
IV.1 ÍNDICES BIOFÍSICOS PARA LA DETECCIÓN Y MONITOREO DE LA AMENAZA DE SEQUÍA	50
IV.1.1. Índice Estandarizado de Precipitación - SPI	50
IV.1.2. Índice estandarizado de precipitación y evapotranspiración - SPEI.....	52
IV.1.3. Índice estandarizado de humedad del suelo (SSI)	53
IV.1.4. Recomendaciones sobre los índices de sequía	53
IV.2 REVISIÓN DE LOS ÍNDICES INTEGRADOS DE VULNERABILIDAD A LA SEQUÍA EXISTENTES.....	53
IV.2.1. Marco de vulnerabilidad a la sequía del Centro Común de Investigación de la Comisión Europea.....	53
IV.2.2. Índice de vulnerabilidad a la sequía - DVI.....	55
IV.2.3. Índice estandarizado de vulnerabilidad a la sequía - SDVI.....	57
IV.3 RECOMENDACIONES SOBRE LOS ÍNDICES DE VULNERABILIDAD A LA SEQUÍA.....	57
V PRODUCTOS RELEVANTES	58
V.1 CRITERIOS DE INCLUSIÓN/EXCLUSIÓN PARA LOS PRODUCTOS	58
V.2 PRODUCTOS E ÍNDICES BIOFÍSICOS PARA EL MONITOREO DE LA SEQUÍA, LA AMENAZA DE SEQUÍA Y LOS EXTREMOS CLIMÁTICOS: PRECIPITACIÓN, TEMPERATURA, Y HUMEDAD DEL SUELO	59
V.2.1. Precipitación	59
V.2.1.1 <i>CHIRPS (actualmente utilizado en Trends.Earth)</i>	59
V.2.1.2 <i>CMAP estándar</i>	60
V.2.1.3 <i>GPCP (actualmente utilizado en Trends.Earth)</i>	60
V.2.1.4 <i>PERSIANN-CDR (actualmente utilizado en Trends.Earth)</i>	60
V.2.1.5 <i>Recomendaciones sobre productos globales sobre clima y tiempo para precipitación</i>	61
V.2.2. Temperatura	62
V.2.2.1 <i>BETP tierra cuadriculado</i>	62
V.2.2.2 <i>CHIRTS-diario</i>	62

Contenido

V.2.2.3 CPC Global Diario.....	62
V.2.2.4 CRUTEM: promedios más anomalías de temperatura del aire de la tierra.....	63
V.2.2.5 GISTEMP Land.....	63
V.2.2.6 NOAA GlobalTemp.....	63
V.2.2.7 Recomendaciones sobre productos globales sobre clima y tiempo para temperatura.....	64
V.2.3. Humedad del suelo	64
V.2.3.1 ERA5 (ERA-Interim se utiliza actualmente en Trends.Earth).....	64
V.2.3.2 Producto combinado ESA CCI para humedad del suelo	64
V.2.3.3 MERRA-2 (actualmente utilizado en Trends.Earth)	65
V.2.3.4 NASA-USDA Datos globales de humedad del suelo	65
V.2.3.5 Recomendaciones de productos de humedad del suelo.....	65
V.3 PRODUCTOS PARA EL MONITOREO LA EXPOSICIÓN DE LAS POBLACIONES HUMANAS A LA SEQUÍA.....	65
V.3.1. Densidad de Población.....	65
V.3.1.1 Población mundial cuadriculada - GPW, versión 4	65
V.3.1.2 Proyecto de mapeo urbano-rural global (GRUMP).....	66
V.3.1.3 Capa Global de Asentamientos Humanos - Población (GHS- POP).....	66
V.3.1.4 Base de datos poblacional mundial LandScan	66
V.3.1.5 Estimación de la población mundial del ESRI.....	66
V.3.1.6 WorldPop.....	67
V.3.1.7 Recomendaciones sobre productos de densidad de población	67
V.3.2. Exposición urbana versus rural: Capas de asentamientos.....	67
V.3.2.1 Capa Global de Asentamientos Humanos - Cuadrícula acumulada (GHS-BUILT).....	67
V.3.2.2 Capa Global de Asentamientos Humanos - Modelo de asentamientos (GHS-SMOD)	67
V.3.2.3 Recomendaciones sobre productos de capas de asentamientos	67
V.4 PRODUCTOS SOBRE EL MONITOREO DE LA EXPOSICIÓN ECOSISTÉMICA A LA SEQUÍA.....	68
V.4.1 BIOMAS ANTROPOGÉNICOS	68
V.5 PRODUCTOS PARA EL MONITOREO DE LA VULNERABILIDAD DE LA POBLACIÓN Y LOS ECOSISTEMAS A LA SEQUÍA	68
V.5.1. Ecológicos.....	68
V.5.1.1 Paisajes Forestales Intactos.....	68

Contenido

V.5.1.2	ESA CCI (mapas MRLC v 207)	68
V.5.1.3	Copernicus Global Land Cover (componente global de cobertura de la tierra del programa Copérnico)	69
V.5.1.4	AVHRR/GIMMS	69
V.5.1.5	MOD13Q1-coll6	69
V.5.1.6	SoilGrids V 2.0	70
V.5.1.7	WorldPop	70
V.5.1.8	Global Human Footprint (Huella Humana Global)	70
V.5.1.9	Estrés hídrico de línea base (BWS)	70
V.5.1.10	Base de datos mundial sobre áreas protegidas (WDPA)	70
V.5.2.	Económicos	71
V.5.2.1	Datos económicos organizados geográficamente (G-Econ)	71
V.5.2.2	Indicadores de seguridad alimentaria de FAOSTAT	71
V.5.2.3	Producto sobre puntos críticos de inseguridad alimentaria de la NASA v1	73
V.5.2.4	Índice de Pobreza Multidimensional - IPM	73
V.5.3.	Índice de riqueza de las Encuestas demográficas y de salud (EDS)	75
V.5.4.	Social	75
V.6.4.1	Encuestas demográficas y de salud (EDS)	75
V.6.4.2	Indicadores del desarrollo mundial (IDM)	76
V.6.4.3	WorldPop	76
V.6.4.4	Indicadores mundiales de gobernanza	76
V.6.4.5	OMS - Modelo de integración de datos para la calidad del aire (DIMAQ)	76
V.6.4.6	NASA SEDAC Cuadrículas mundiales anuales de PM 2.5	76
V.5.5.	Infraestructura	76
V.6.5.1	WASH	76
V.6.5.2	Encuestas Demográficas y de Salud (EDS) acceso al agua potable	78
V.6.5.3	Mapa Global de Zonas de Regadío de la FAO	78

Contenido

V.6 RECOMENDACIONES SOBRE PRODUCTOS PARA EL MONITOREO DE LA VULNERABILIDAD A LA SEQUÍA	78
VI RECOMENDACIONES SOBRE EL MONITOREO DE LOS AVANCES HACIA EL OE3	80
VI.1 EFECTO PREVISTO 3.1: SE REDUCE LA VULNERABILIDAD DE LOS ECOSISTEMAS A LA SEQUÍA, ENTRE OTRAS COSAS, MEDIANTE PRÁCTICAS DE GESTIÓN SOSTENIBLE DE LAS TIERRAS Y EL AGUA	80
VI.1.1. Vulnerabilidad de los ecosistemas (OE3-1)	81
VI.1.2. Gestión sostenible de la tierra y del agua (OE3-1)	81
<i>VI.1.2.1 Gestión sostenible del agua (OE3-1)</i>	<i>81</i>
<i>VI.1.2.2 Gestión sostenible de la tierra.....</i>	<i>81</i>
VI.1.3. Un índice integrado del OE3-1	82
VI.2 EFECTO PREVISTO 3.2: AUMENTA LA RESILIENCIA DE LAS COMUNIDADES A LA SEQUÍA	82
VI.2.1. OE3-2 Resiliencia comunitaria.....	83
VI.3 LIMITACIONES, ATRIBUCIONES Y FUTURAS CONSIDERACIONES	83
VII REFERENCIAS	86

I. Reseña del informe

La degradación de la tierra, como se define por la CNULD, se refiere a cualquier reducción o pérdida de la capacidad productiva biológica o económica de la tierra como base de recursos. Por lo general es causada por la actividad humana, exacerbada por procesos naturales, y muchas veces es magnificada y está estrechamente entrelazada con el cambio climático y la pérdida de biodiversidad.

I.1. Introducción

I.1.1. La sequía y la degradación de la tierra

La degradación de la tierra, como se define por la CNULD, se refiere a cualquier reducción o pérdida de la capacidad productiva biológica o económica de la tierra como base de recursos. Por lo general es causada por la actividad humana, exacerbada por procesos naturales, y muchas veces es magnificada y está estrechamente entrelazada con el cambio climático y la pérdida de biodiversidad. Este es un desafío global: se estima que más del 20% de la superficie vegetal de la Tierra está degradada, lo que afecta a más de 1.300 millones de personas [2], con un impacto económico de hasta 10,6 billones USD [3]. La degradación de la tierra reduce la productividad agrícola y aumenta la vulnerabilidad de esas áreas, que ya están en riesgo por los efectos de la variabilidad y el cambio climático,

sobre todo en las regiones del mundo donde las tasas de pobreza siguen siendo altas a pesar de los esfuerzos para reducir la pobreza y la desigualdad y mejorar el bienestar socioeconómico de todas las personas en el mundo. Los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas (ODS; **Figura 1, Recuadro 1**) intentan abordar, entre otras cuestiones apremiantes a nivel mundial, la degradación de la tierra en todo el mundo.

Sequía es un fenómeno complejo, de inicio lento que pasa a través de diferentes escalas temporales. Se caracteriza por una reducción en la disponibilidad de agua, lo que lleva a efectos en cascada sobre los medios de sustento de las personas y los sectores económicos. A veces la sequía se define de manera simplista como un período de tiempo seco lo suficientemente largo como para causar un desequilibrio hidrológico, aunque no existe una definición globalmente acordada de sequía⁴. Por otra parte, la sequía rara vez se produce como un único evento de riesgo, sino más bien está relacionada con otros riesgos tales como olas de calor, incendios forestales, tormentas de polvo/



4 El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) define sequía como «Un período de tiempo anormalmente seco lo suficientemente largo como para causar un desequilibrio hidrológico serio. La sequía es un término relativo, por lo tanto cualquier discusión en términos del déficit de precipitación debe referirse a la actividad particular relacionada con la precipitación que se discute. Por ejemplo: la escasez de precipitación durante la temporada de cultivo afecta la producción de la cosecha o la función de los ecosistemas en general (debido a la sequía de la humedad del suelo, también denominada sequía agrícola), y durante la época de escorrentía y percolación afecta principalmente a los suministros de agua (sequía hidrológica). Los cambios en el almacenamiento de la humedad del suelo y las aguas subterráneas también se ven afectados por el aumento de la evapotranspiración real, además de las reducciones en la precipitación. Un período con un déficit de precipitación anormal se define como sequía meteorológica. Véase también Humedad del suelo» (Informe de Evaluación 5 del IPCC, 2014). La Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNDRR) define sequía como Un riesgo de inicio lento, a menudo llamado un fenómeno insidioso. La ausencia de una definición de sequía precisa y universalmente aceptada se suma a esta confusión.

arena o inundaciones. La sequía tiene un impacto cada vez mayor sobre un número cada vez mayor de personas, medios de sustento, ecosistemas y economías en todo el mundo[4]. Cuando se presenta junto con la degradación de la tierra, puede exponer a poblaciones que ya son vulnerables a riesgos perjudiciales para sus medios de sustento, socioeconómicos, ambientales y de salud, que disminuyen la resiliencia de la población o comunidad.



SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS



Figura 1. Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de Naciones Unidas



Las definiciones deben ser específicas para las diferentes regiones, ya que cada régimen climático tiene características climáticas distintivos» (UNDRR GAR Capítulo 6). La falta de una definición de consenso complica los esfuerzos de monitoreo, ya que la definición y el abordaje del monitoreo son típicamente específicos al contexto.

¿Círculo vicioso o virtuoso?

Retroalimentaciones entre la vulnerabilidad humana y la desertificación, la degradación de la tierra y la sequía

La vulnerabilidad de la comunidad y los ecosistemas y su resiliencia a la desertificación, degradación de la tierra y sequía (DDTS) están interconectados; dependiendo de la dinámica individual, de los hogares y la comunidad y sus respuestas, proporcionan retroalimentación a la DDTS. La vulnerabilidad de la comunidad y del ecosistema a la DDTS se reduce y la resiliencia se mejora en la medida en que las respuestas de gestión de la tierra y del agua (así como otros comportamientos demográficos y socioeconómicos) ante la DDTS son comportamientos adaptativos positivos para el sustento humano y la integridad ecológica. Mientras que las adaptaciones pueden ser positivas para los seres humanos y no para el medio ambiente y viceversa, puede ocurrir un bucle de retroalimentación virtuoso de la actividad humana a la DDTS cuando las respuestas humanas son no solo positivamente adaptativas para el sustento y bienestar humanos sino también para mitigar la DDTS. Imaginemos, por ejemplo, una granja cooperativa yucateca de México que, en respuesta a la desertificación y el aumento de la frecuencia y magnitud de las sequías, cambia el cultivo de maíz, que requiere uso intensivo del agua, a chiles que son tolerantes al agua. Como los chiles tienden a exigir más trabajo, los agricultores podrían inclinarse a intensificar la producción y dejar regenerar tierras antes labradas, de ese modo neutralizando -y potencialmente revirtiendo- la degradación de la tierra. En una hipótesis plausible, el comportamiento de los agricultores podría estar contribuyendo tanto a la resiliencia comunitaria como a la ecológica.

En la **Figura 2** se muestra el grado al que la resiliencia se refuerza positivamente por la actividad humana en los bucles de retroalimentación positivos con gestión de la tierra y del agua (así como otras respuestas demográficas y socioeconómicas). Sin embargo, estas sinergias potenciales (los mismos flujos circulares en la **Figura 2**) también pueden convertirse en bucles de retroalimentación negativa o círculos viciosos. Imaginemos que los agricultores yucatecos, en lugar de cambiar de maíz a chiles, hicieran lo contrario, arando por encima de los chiles y los bosques y las tierras en barbecho restantes para sembrar un monocultivo de maíz con uso intensivo del agua, digamos que en respuesta a un aumento en la demanda de maíz. Los agricultores podrían ganar más dinero en efectivo en el corto plazo, mientras que exacerban la vulnerabilidad comunitaria y ecológica y la degradación de la tierra a mediano y largo plazo (por no mencionar el aumento del riesgo de plagas que atacan el maíz). Por lo tanto, tomar decisiones sostenibles sobre la tierra y el agua pueden catalizar círculos virtuosos que aumentan la resiliencia de la comunidad y los ecosistemas a la sequía (y la desertificación y la degradación de la tierra).

En la medida en que la gestión del agua y de la tierra lleva a una mayor resiliencia ecológica y comunitaria, se puede avanzar en varios ODS (**Figura 1**) de forma simultánea. La gestión sostenible de la tierra y del agua tiene sinergia con la resiliencia comunitaria y ecológica a través de los ODS 1-15 (si no es que a través de más). Algunas de estas sinergias son directas mientras que otras son más distantes o contingentes. Volviendo a nuestros agricultores yucatecos, si el cambio del cultivo de maíz intensivo en el uso de tierra y agua a los chiles más lucrativos y potencialmente más intensivos en uso de la tierra resulta en un retorno de las tierras de cultivo a tierras silvestres, la resiliencia mejorada de la comunidad y el ambiente podría generar una rentabilidad muchas veces mayor en términos de los ODS. Los ingresos en efectivo podrían aumentar mediante un cambio hacia un cultivo con mercado más lucrativo, reduciendo la pobreza (ODS 1); más dinero en efectivo podría permitir un mayor presupuesto familiar destinado a alimentos suficientes y diversos (y se podrían mantener un poco de maíz y otros cultivos de subsistencia como seguro), reducir el hambre y mejorar la nutrición (ODS 2) y aumentar la salud y el bienestar (ODS 3). El aumento de los ingresos también podría facilitar que los niños en edad escolar asistan a la escuela, aumentando la educación de calidad (ODS 4), especialmente para las niñas que a menudo son las primeras en dejar la escuela para ayudar con la generación de ingresos familiares, mejorando así la equidad de género (ODS 5). Indirectamente, una mayor educación de calidad podría promover una apreciación y la adopción de agua potable y saneamiento (ODS 6), por ejemplo: a través de la filtración del agua y el lavado de manos; el aumento en educación puede facilitar también la adopción de energía limpia y asequible (ODS 7), por ejemplo: a través del uso de cocinas de combustión limpia y eficientes. Las cocinas

ecológicas podrían funcionar por medio de una innovadora infraestructura con una red solar compartida (ODS 9). El aumento de los ingresos por la gestión estratégica de la tierra y del agua es una forma de crecimiento económico (ODS 8) con el potencial de reducir la desigualdad (ODS 10). Con escala hasta el nivel de un pueblo, dichas actividades podrían ayudar a promover comunidades sostenibles (ODS 11) habilitadas por un consumo y una producción más responsable (ODS 12), con una acción climática que aparece en varias actividades de mitigación de carbono (ODS 13), la promoción de la vida en la tierra (ODS 15) mediante el aumento de las tierras silvestres. Dichas actividades también podrían promover la vida debajo del agua (ODS 14) en la medida en que los productos químicos tóxicos son reemplazados por mejoras naturales del suelo y la erosión se reduce por medio de una mejor gestión de la tierra, reduciendo así el escurrimiento contaminado y la sedimentación que entra en las vías fluviales locales.

No podemos negar que estas conexiones son complejas y dependen de múltiples contingencias socioeconómicas y ecológicas a múltiples escalas. El punto es que los resultados esperados del OE3 de una mayor resiliencia comunitaria y ecológica (y una menor vulnerabilidad), en particular mediante el manejo sostenible de la tierra y del agua, pueden catalizar múltiples bucles de retroalimentación positiva de los ODS en las comunidades y sus ecologías circundantes. Y, en la medida en que el ejemplo de la cooperativa agrícola yucateca es plausible, aunque las condiciones y las contribuciones relativas de cada ODS pueden diferir de un lugar a otro, múltiples círculos virtuosos que promueven el OE3 son posibles. Estas posibilidades se hacen más probable con mejores capacidades de monitoreo con base en la libre disposición de productos geoespaciales globales.

1.1.2. Trends.Earth

Trends.Earth fue creado mediante una alianza entre Conservación Internacional, la Universidad de Lund y la Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio (NASA), con financiamiento del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM). Los objetivos de la plataforma incluyen proporcionar métodos y productos para el monitoreo de los cambios de la tierra (incluidas su degradación y mejora) por medio de observaciones de la tierra en un sistema innovador localizado en computadoras de escritorio y en la nube. En primer lugar, la plataforma permite a los usuarios evaluar la degradación de la tierra y monitorear los logros hacia la neutralidad de la degradación de la tierra (NDT). Actualmente la plataforma puede apoyar el monitoreo de tres subindicadores de la NDT (Meta 15.3 del Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS)): productividad, la cobertura de la tierra y carbono orgánico del suelo. La herramienta también es compatible con los países miembros, dándoles un medio para analizar los datos y preparar los informes que requiere la CNUCLD. Los usuarios pueden graficar series temporales de estos subindicadores clave del cambio de la tierra para producir mapas y gráficos en apoyo al monitoreo y presentación de informes, así como permitir el seguimiento de los impactos de la gestión sostenible de la tierra o de los esfuerzos relacionados. Los datos se procesan de tal manera que, cuando sea posible, se intercalan los datos locales con capas de información a escala nacional y global obtenidos a través de encuestas e imágenes de teledetección. Con la recepción favorable de Trends.Earth por los países

miembros de la CNUCLD, hay un deseo expreso de ampliar las capacidades actuales para apoyar el monitoreo y la presentación de informes sobre otros Objetivos Estratégicos de la CNUCLD y comprender las interacciones socioambientales entre la sequía, la degradación de la tierra, y la pobreza, para un mejor soporte del marco estratégico 2018-2030 de la CNUCLD.

1.1.3. The UNCCD Strategic Framework

Para apoyar a las Partes en hacer frente a este desafío, la 13ª Conferencia de las Partes (CDP.13) de la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación (CNUCLD) aprobó el Marco Estratégico para 2018-2030 (Decisión 7/CDP.13). El Marco Estratégico reconoce los retos globales de la desertificación/degradación de la tierra y la sequía (DDTS) y su contribución a los «problemas económicos, sociales y ambientales» que «plantean serios desafíos para el desarrollo sostenible», y observa que abordar la DDTS involucrará estrategias a largo plazo que se centren simultáneamente en una mejor productividad de la tierra y la rehabilitación, conservación y gestión sostenible de los recursos de la tierra y el agua. La Visión del Marco es:

Un futuro que evita, minimiza, y revierte la desertificación/ degradación de la tierra y mitiga los efectos de la sequía en las zonas afectadas en todos los niveles y se esfuerza por lograr un mundo con neutralidad en la degradación de la tierra, en concordancia con la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible y dentro del alcance de la Convención.

El Marco Estratégico abarca tres Objetivos Estratégicos (OE):

- **Objetivo Estratégico 1:** Mejorar las condiciones de los ecosistemas afectados, luchar contra la desertificación y la degradación de las tierras, promover la ordenación sostenible de las tierras y contribuir a la neutralización de la degradación de las tierras
- **Objetivo Estratégico 2:** Mejorar las condiciones de vida de las poblaciones afectadas
- **Objetivo Estratégico 3:** Mitigar, gestionar y adaptarse a los efectos de la sequía a fin de aumentar la resiliencia de los ecosistemas y las poblaciones vulnerables
- **Objetivo Estratégico 4:** Generar beneficios ambientales mundiales mediante la aplicación efectiva de la CNULD
- **Objetivo Estratégico 5:** Movilizar una cantidad sustancial y adicional de recursos financieros y no financieros para apoyar la aplicación de la Convención mediante alianzas eficaces a escala mundial y nacional

El OE1, un Objetivo Estratégico en consonancia con la meta del ODS 15.3 (NDT), establece que «para 2030, luchar contra la desertificación, rehabilitar las tierras y los suelos degradados, incluidas las tierras afectadas por la desertificación, la sequía y las inundaciones, y procurar lograr un mundo con una degradación neutra del suelo.» Una guía de mejores prácticas para el ODS 15.3.1 fue desarrollada por Sims et al[5]. El OE2 tiene como propósito «mejorar las condiciones de vida de las poblaciones afectadas» y avanzar en términos del impacto esperado de las mejoras en seguridad alimentaria y acceso adecuado al agua, mejorar los medios de sustento de las personas en las zonas afectadas, empoderando a los locales, especialmente las mujeres y los niños, en los procesos de toma de decisiones en la lucha contra la DDTS, y reducir la migración forzada por la desertificación y degradación de la tierra. El enfoque específico del OE3 es «Mitigar, gestionar y adaptarse a los efectos de la sequía a fin de aumentar la resiliencia de los ecosistemas y las poblaciones vulnerables» (Figura 2). Los dos impactos esperados del OE3 son un aumento en la resiliencia de los ecosistemas a la sequía a través de prácticas sostenibles de gestión del agua y la tierra y un aumento de la resiliencia de las comunidades a la sequía (Figura 2). Los OE1, OE2, OE3 dan apoyo e información a los OE4 y OE5.

OE3. Mitigar, gestionar y adaptarse a los efectos de la sequía a fin de aumentar la resiliencia de los ecosistemas y las poblaciones vulnerables

Efecto previsto 3.1:
Se reduce la vulnerabilidad de los ecosistemas a la sequía, entre otras cosas, mediante prácticas de gestión sostenible de las tierras y el agua.

Efecto previsto 3.2:
Aumenta la resiliencia de las comunidades a la sequía.

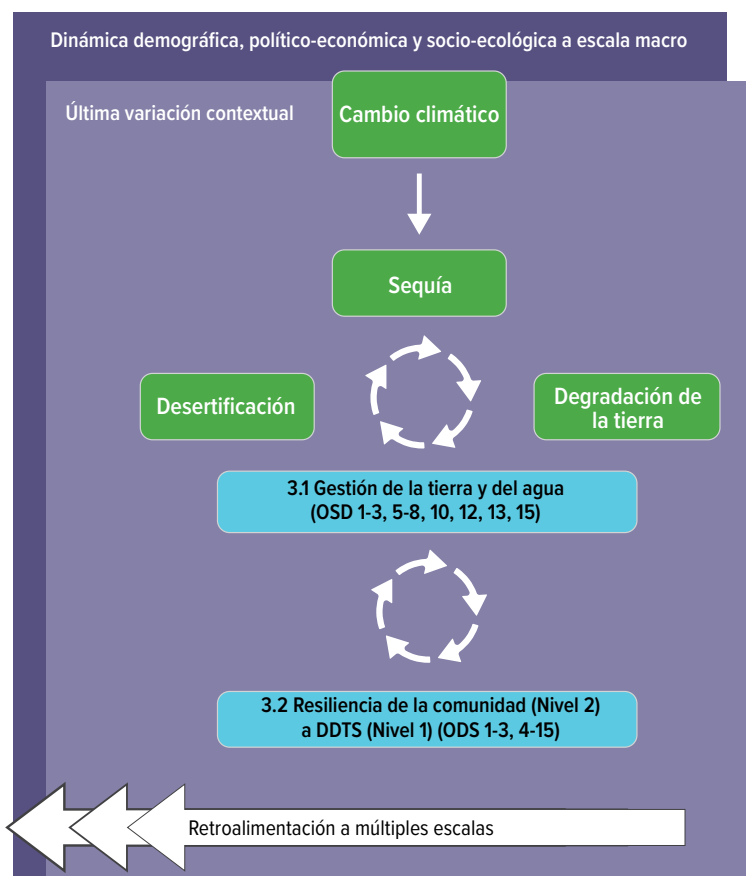


Figura 1. OE3 Vulnerabilidad de la comunidad (en azul) y de los ecosistemas (en verde) y resiliencia a DDTS. Realizar elecciones estratégicas, incluida la mejora de las prácticas de gestión sustentable de la tierra y del agua, cataliza círculos “virtuosos” que aumentan la vulnerabilidad a la sequía de la comunidad y los ecosistemas.

El marco de monitoreo establecido de la CNUCLD para el OE3 utiliza un enfoque por niveles compuesto de tres niveles para el monitoreo de la sequía (**Cuadro 1**). Esto incluye el riesgo de sequía (Nivel 1), la exposición a la sequía (Nivel 2) y la vulnerabilidad a la sequía (Nivel 3) [1]. El marco establece

indicadores de avance y candidatos a métricas/sustitutos en la determinación y presentación de informes sobre cada nivel. En consonancia con la Decisión 11/CDP.14, se ha solicitado que la Secretaría de la CNUCLD desarrolle una orientación sobre buenas prácticas en el marco de monitoreo para el OE3.

Cuadro 1. Resumen de los indicadores y la base para las métricas/sustitutos pertinentes para cada uno de los tres niveles de indicadores de sequía propuestos y el marco de monitoreo.

Nivel	Indicador de avance	Bases para los candidatos a métricas/sustitutos*
Nivel 1 - Indicador simple sobre sequía	Tendencias en la proporción de tierra en condiciones de sequía sobre la superficie total del país.	Indicador Global de Sequía (estandarizado en clases) de la Organización Meteorológica Mundial, monitoreado y mapeado de forma mensual y agregado para el período de informes de la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación.
Nivel 2 - Indicador simple de exposición a la sequía	Tendencias en la proporción de la población expuesta a la sequía sobre la población total	Porcentaje de la población expuesta a cada clase de sequía definida en el Nivel 1.
Nivel 3 - Indicador integral de vulnerabilidad a la sequía	Tendencias en el grado de vulnerabilidad a la sequía	Índice compuesto de los factores económicos, sociales, físicos y ambientales relevantes que contribuyen a la vulnerabilidad a la sequía

*La descripción proporcionada para los candidatos a métricas/sustitutos se deben considerar preliminares, puesto que van a evolucionar a través de un proceso multilateral como el marco del Sistema Mundial de Alerta Multirriesgo de la Organización Meteorológica Mundial para ayudar a asegurar el avance hacia un desarrollo colaborativo de normas para los métodos y datos, apoyado por las guías sobre buenas prácticas así como la apropiación nacional del proceso de presentación de informes.

La mejoría del monitoreo de los países miembros con respecto del OE3 es especialmente crítica para los objetivos de la CNUCLD, ya que el logro exitoso del OE3 cataliza la implementación del OE1 y OE2, junto con los ODS 1-15 (**Figura 1**). Para la consecución rápida y satisfactoria de estos ODS y objetivos de la CNUCLD, es imperativo que los países miembros utilicen métodos y herramientas estandarizados y de punta para la evaluación de la sequía y la comprensión de las condiciones socioeconómicas de las comunidades vulnerables en las zonas afectadas a través de la integración de plataformas geoespaciales libres y abiertas como Trends.Earth. Proporcionar datos geoespaciales globales consistentes a los países Partes de la CNUCLD ha reducido significativamente la barrera de presentación de informes y la carga en relación con los esfuerzos para lograr la NDT[6].

1.2. Objetivos del informe

Nuestro objetivo principal está dirigido a la mejora de las funcionalidades de Trends.Earth para apoyar la implementación a nivel nacional y la presentación de informes a la CNUCLD sobre el OE3 del Marco Estratégico 2018-2030 de la CNUCLD (Decisión 7/CDP.13) [1]. Para facilitar el monitoreo del OE3 a nivel de país y su implementación dentro de la plataforma Trends.Earth, desarrollamos un abordaje para la comprensión de la vulnerabilidad humana y ecosistémica a la sequía

consistente con el OE3. En segundo lugar, desarrollamos una síntesis sobre los productos globales meteorológicos y climáticos que se pueden utilizar para comprender mejor los impactos de la sequía hacia la NDT (y viceversa), incluidos los indicadores de riesgo, exposición y vulnerabilidad a la sequía utilizando productos globales biofísicos socioeconómicos para comprender las condiciones socioambientales de las comunidades y los ecosistemas vulnerables de las zonas afectadas. A continuación identificamos los productos prioritarios, las variables y los índices para el monitoreo de la sequía en el contexto del OE3 y sus dos impactos esperados, OE3.1 y OE3.2 (**Figura 2**). Para integrar las métricas de la exposición, vulnerabilidad y resiliencia, el informe presenta productos globales socioeconómicos y biofísicos para evaluar el progreso del OE3 a la vez que se permite, en la medida de lo posible, el uso de otros datos provenientes de censos nacionales o datos desglosados. El informe evalúa el potencial del desglose por sexos de los productos socioeconómicos globales para diferenciar como los hombres y las mujeres se ven afectados por la degradación de la tierra, la sequía y la pobreza, hacia una orientación del monitoreo y la implementación del OE3. Por último, discutimos el monitoreo integrado para el OE3.1 y OE3.2, y consideramos las limitaciones y el potencial futuro de incorporar productos adicionales en la elaboración y presentación de informes sobre la vulnerabilidad a la DDTs.

II. Antecedentes

II.1. Definición de vulnerabilidad y resiliencia al cambio climático y la DDTs

A modo de breve introducción al tema general, a continuación compartimos algunas definiciones de términos clave y un resumen del asunto, más amplio, sobre los desafíos y las oportunidades para aumentar la resiliencia ante el cambio climático y la DDTs.

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), el organismo líder a nivel mundial sobre el cambio climático y sus impactos, compuesto por climatólogos de todo el mundo, es la fuente principal de nuestras definiciones. También se introducen definiciones secundarias y explicaciones adicionales.

El IPCC define **cambio climático** como «una variación del estado del clima identificable en las variaciones del promedio o en la variabilidad de sus propiedades, que persiste durante períodos prolongados, generalmente décadas o períodos más largos, y que puede ser causado o afectado por factores naturales o antropogénicos». La **Sequía** y los fenómenos antropogénicos conocidos como **degradación de la tierra** y el proceso de **desertificación** (un proceso caracterizado por alteraciones en los regímenes ecológicos naturales a través de una transformación gradual y extrema de ecosistemas previamente productivos a unos más xéricos que ocurren principalmente en entornos de secano) están estrechamente relacionados. Estos fenómenos complejos son impulsados por la actividad humana no adaptativa junto con las limitantes tanto de tierra como climáticas. Cuando el uso inapropiado de la tierra (por ejemplo: los monocultivos) o las prácticas de gestión insostenible de la tierra (por ejemplo: deforestación, agricultura insostenible o sobreexplotación de los recursos hídricos) se dan cuando hay sequía (y la escasez de agua asociada), los efectos de la sequía se pueden intensificar y llevar a una cascada de efectos que resulten en la degradación de la tierra y/o la desertificación.

Los sistemas socio-ecológicos (SES) son vulnerables cuando se exponen a los cambios climáticos y ambientales tales como la degradación de la tierra y la desertificación. Bajo el marco del IPCC (**Figura 3**), la **vulnerabilidad** se define como la propensión o predisposición a ser afectados adversamente por el cambio climático y los procesos relacionados con este, y los científicos en gran medida están de acuerdo en que la vulnerabilidad es una función de la sensibilidad y la capacidad de adaptación de los SES [7–9]. **Sensibilidad** es el impacto de este factor de estrés ambiental sobre los SES. **Capacidad** se refiere tanto a **la capacidad de sobrellevar** (la capacidad de las personas, instituciones, organizaciones y sistemas de

usar las habilidades, los valores, las creencias, los recursos y las oportunidades disponibles para atender, administrar y superar las condiciones adversas en el corto y mediano plazo), y **la capacidad de adaptarse** (la capacidad de los sistemas, las instituciones, los seres humanos y otros organismos para adaptarse a los daños potenciales, aprovechar las oportunidades o responder a las consecuencias) [4,10]. La vulnerabilidad, la sensibilidad y la capacidad son parte de un marco más amplio que categoriza el **riesgo** o potencial de consecuencias cuando algo de valor está en juego y el resultado es incierto, reconociendo la diversidad de valores. El riesgo se representa a menudo como la probabilidad o posibilidad de que ocurran eventos o tendencias peligrosos multiplicados por los impactos si estos eventos o tendencias [4] llegan a ocurrir. Por lo tanto, el marco también incorpora elementos de riesgo y exposición. **Riesgo**, según lo define el IPCC, es la posibilidad de que ocurra un evento físico o tendencia o impacto físico, natural o provocado por el hombre, que pueda causar la pérdida de vidas, lesiones u otros efectos en la salud, así como daños y pérdida de bienes, infraestructura, medios de sustento, prestación de servicios, ecosistemas y recursos ambientales [4]. La **Exposición** se caracteriza por la presencia de personas, medios de sustento, especies o ecosistemas, funciones ambientales, servicios y recursos, infraestructura, o activos económicos, sociales, culturales o aquellos ubicados en lugares y escenarios que podrían verse afectados negativamente [4]. En suma, la vulnerabilidad depende de la exposición a un riesgo y la sensibilidad a dicha exposición, incluida la susceptibilidad de los individuos, sistemas humanos y entornos naturales en su conjunto dentro de un sistema natural-humano acoplado y su capacidad sobrellevarlo o adaptarse [11,12]. La intersección entre amenazas, exposición, riesgo y desastres se encapsula en el Marco de Sendai, aprobado en la Tercera Conferencia Mundial de las Naciones Unidas (ONU) para la Reducción del Riesgo de Desastres en Sendai, Japón, el 18 de marzo de 2015. En este marco se esbozan los objetivos y prioridades para prevenir el riesgo futuro y reducir el riesgo existente de desastres, con el objetivo concreto de lograr una reducción sustancial del riesgo de desastres y la pérdida de vidas, medios de sustento y salud, además de los bienes económicos, físicos, sociales, culturales y

ambientales de las personas, empresas, comunidades y países en los próximos 15 años [13]. Una de las prioridades específicas identificadas en este informe era «*Alentar el recurso a bases de referencia y su fortalecimiento y evaluar periódicamente los riesgos de desastres, la vulnerabilidad, la capacidad, el grado de exposición, las características de las amenazas y la posible secuencia de efectos en las escalas social y geográfica pertinentes sobre los ecosistemas, con*

arreglo a las circunstancias nacionales». Los riesgos multifacético de desastres se ven mitigados por la acción humana a través de las acciones de gestión del riesgo de desastres y las estrategias de adaptación al cambio climático; sin embargo, cuáles son las acciones y estrategias eficaces sigue siendo un área importante de investigación [4,14].

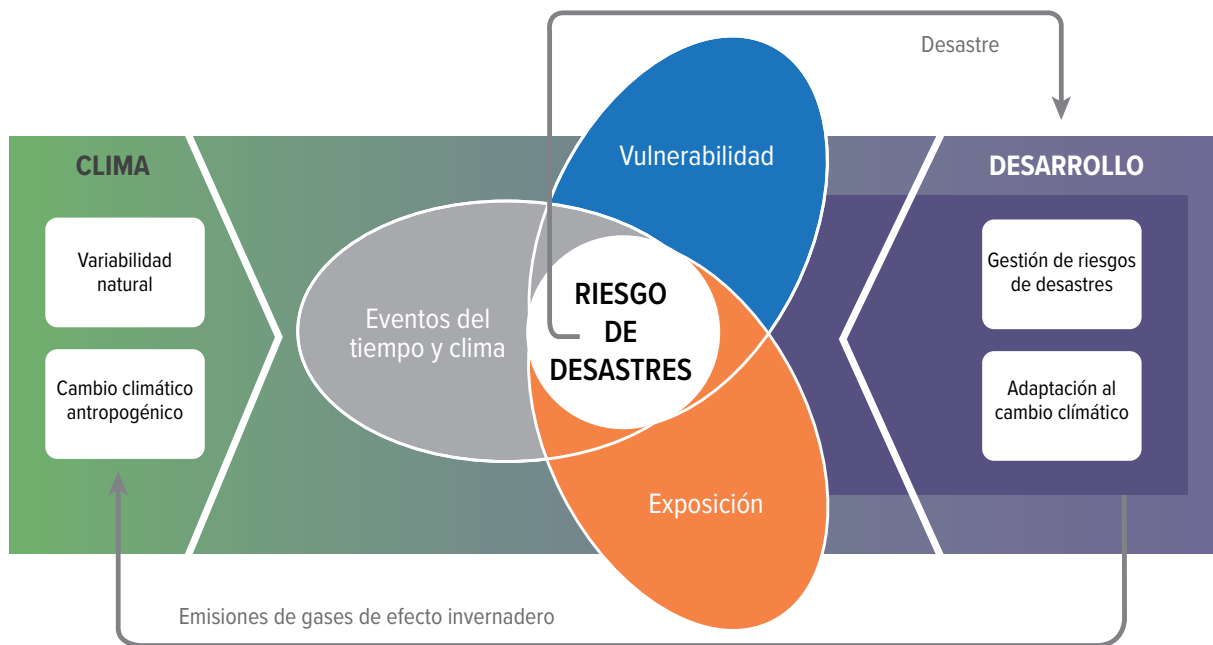


Figura 3. El Marco del IPCC sobre el riesgo de desastres es conceptualizado como la intersección entre las amenazas (eventos meteorológicos y climáticos), la exposición y la vulnerabilidad, mitigados por la gestión de riesgos y las estrategias de adaptación al cambio climático. Fuente: IPCC SREX, 2012.

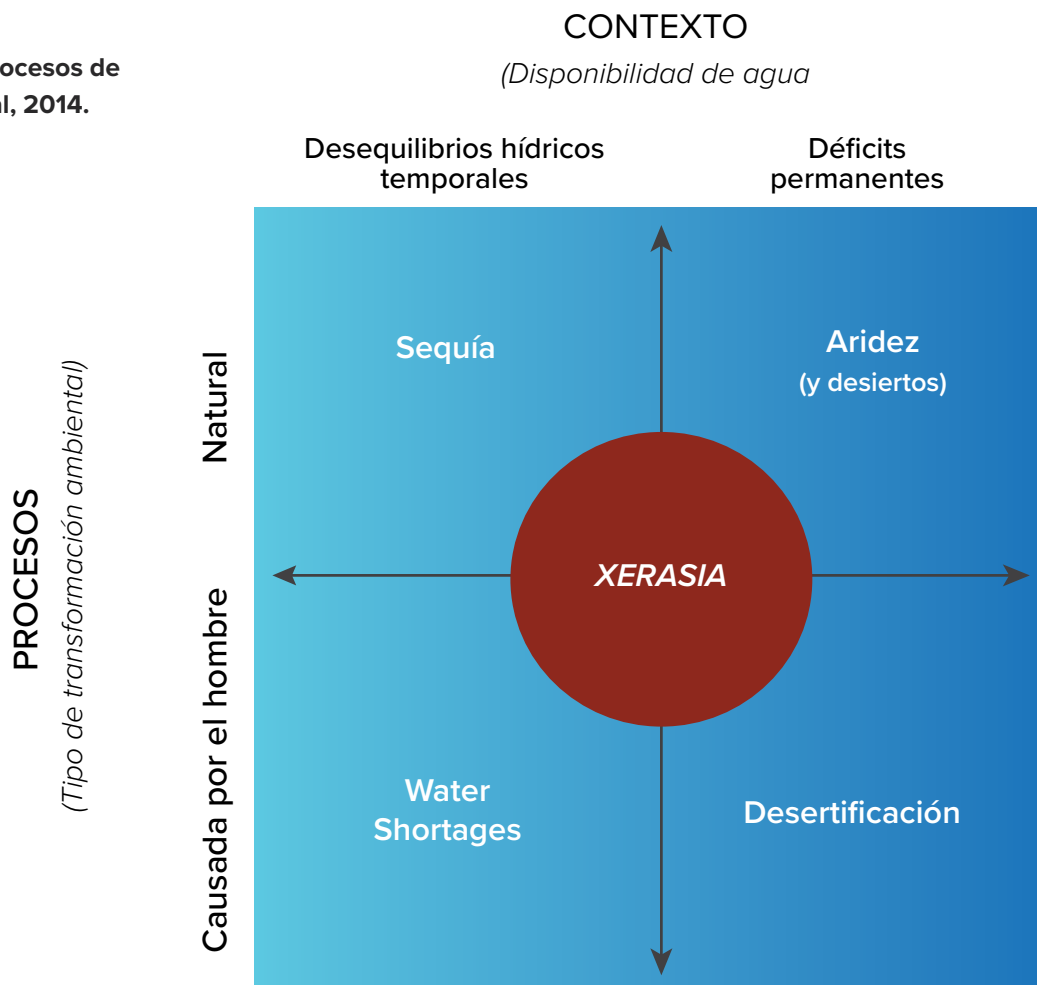


La **Resiliencia**, según el IPCC, se define como «la capacidad de los sistemas sociales, económicos y ambientales de hacer frente a un evento, tendencia o perturbación que plantee una amenaza, responder o reorganizarse de manera que mantengan su función esencial, identidad y estructura, a la vez que se mantiene la capacidad de adaptación, aprendizaje y transformación». [4]. Algo necesario para forjar la resiliencia es mejorar la capacidad de una comunidad de adaptarse, operar e incluso prosperar cuando enfrenta condiciones ambientales y cambios difíciles [15]. Cuando hacemos hincapié en la tierra, su salud y resiliencia y su papel clave en el empeoramiento o reducción del impacto de la sequía en los sistemas humanos y socioeconómicos, la **gestión sostenible de la tierra (SLM)** puede reducir los efectos de la sequía donde la degradación de la tierra los amplificaría. Por lo tanto, cuando se habla de resiliencia ante la sequía y la reducción de la vulnerabilidad en el contexto de la DDTS, la SLM juega un papel crucial. La SLM fue definida por la Cumbre de Río de las Naciones Unidas en 1992 como «el uso de los recursos de la tierra, incluidos los suelos, el agua, los animales y las plantas, para la producción

de bienes para satisfacer las cambiantes necesidades humanas, garantizando al mismo tiempo el potencial productivo a largo plazo de estos recursos y el mantenimiento de sus funciones ambientales». La SLM incluye prácticas que conservan los recursos naturales, reducen las emisiones y almacenan carbono, entre otros beneficios, para lograr los objetivos principales de mantener las funciones y servicios del ecosistema a la vez que se apoya el bienestar humano. En un contexto global, la SLM es un enfoque importante para apoyar tanto la NDT como los ODS.

Para entender la vulnerabilidad y las conexiones con la sequía y la desertificación de un marco potencialmente útil cuando se piensa en la integración de amenazas, exposición, sensibilidad y capacidad de adaptación a través de los conceptos de aridez y desertificación. **Aridez** se define como una condición permanente, estable y natural que describe una región, mientras que, al contrario, la sequía es un fenómeno climático temporal que puede ocurrir de manera impredecible o siguiendo un patrón más regular. Las sequías pueden llevar a una mayor demanda de agua y **la falta de agua** - desequilibrios temporales

Figura 4. La matriz de procesos de 'xerasia' de Karavitis et al, 2014.



en la disponibilidad del agua para uso humano o ecosistémico que pueden caracterizarse en diferentes escalas espaciales (es decir, local o regional) y que se puede exacerbar en las regiones áridas. Esto debe distinguirse de **la escasez de agua**, que se define comúnmente como un desequilibrio a largo plazo entre la disponibilidad de agua natural y la demanda. Karavitis et al. [16] combinaron estos procesos y terminología en un marco denominado 'xerasia' que resalta los límites superpuestos entre estas cuatro categorías predicadas sobre interdependencias, múltiples mecanismos de retroalimentación y una compleja dinámica (**Figura 4**).

El mensaje principal no solo es la complejidad e interdependencia entre sequía, disponibilidad del agua y vulnerabilidad, sino también las causas naturales y antropogénicas combinadas que llevan a los resultados de degradación. Como veremos más adelante, las características socioeconómicas y demográficas son las que, en última instancia, definirán la vulnerabilidad relativa de la población a las diversas manifestaciones de sequía y degradación, mientras que, simultáneamente, tienen en cuenta la influencia de las actividades humanas sobre la frecuencia de las sequías, su advenimiento y la dinámica espacial entre sequía, degradación de la tierra y vulnerabilidad [12]. La vulnerabilidad ecosistémica será definida en última instancia por la respuesta de un ecosistema a la sequía y la degradación en términos de las funciones de los ecosistemas y los procesos reguladores en relación con la biodiversidad y la protección de la naturaleza [[17].

II.2. Introducción a los tipos de sequía y abordajes de monitoreo

En función de su origen, efectos y consecuencias, las sequías se clasifican típicamente en cuatro categorías principales: sequía meteorológica, sequía agrícola, sequía hidrológica y la sequía socioeconómica. Más recientemente se ha definido un quinto tipo, denominado sequía ecológica. El IPCC se refiere tanto a la sequía agrícola como la ecológica como «sequía de la humedad del suelo», pero muchas veces estos dos son tratados como tipos independientes: se considera que la sequía agrícola afecta los agroecosistemas, mientras que la sequía ecológica afecta otros ecosistemas naturales o manejados tales como bosques, pastizales o humedales [14]. Las sequías de humedad del suelo, hidrológicas y socioeconómicas se consideran a menudo una continuación de la sequía meteorológica pero hace hincapié en los aspectos sociales de la sequía y la gestión humana de los recursos naturales [18–20] (**Figura 5**).

La clasificación de la sequía en varios tipos con base en los impactos focales particulares de la sequía meteorológica pone de relieve las interacciones entre las características naturales de magnitud y duración de la sequía, y las numerosas actividades

humanas y demandas sociales que dependen de la precipitación para proporcionar suministros adecuados de agua [21]. En este contexto, se discute con más detalle las características asociadas con todos los tipos de sequía y el marco general en el que se les monitorea desde una perspectiva de riesgo.

La **sequía meteorológica** comúnmente resulta de un período natural de déficit de precipitación, un resultado de las interrupciones persistentes a gran escala en la circulación atmosférica global. La sequía meteorológica también puede ocurrir por otros factores, que también pueden influenciar su severidad, tales como vientos fuertes, altas temperaturas y una humedad relativa baja [19] (**Figura 5**). Debido a que es predominantemente un fenómeno natural, no se puede hacer mucho, o en realidad nada, para prevenir la ocurrencia de sequías meteorológicas. Sin embargo, un reciente estudio (el primero de su tipo) ha proporcionado evidencia de la conexión entre el cambio climático y los patrones globales de sequía mediante la búsqueda de alineamientos entre la sequía y los patrones de humedecimiento y secado que son una respuesta característica del clima de las emisiones de gases de efecto invernadero [22]. Además, estos modelos y demás evidencia presentadas por el IPCC apoyan la conclusión de que las sequías están aumentando tanto en frecuencia como en severidad [4,22].

Los datos de precipitación son los más comúnmente empleados en el análisis de la amenaza de sequía meteorológica, donde la sequía se considera como una desviación de la precipitación normal durante un período de tiempo específico o un déficit de precipitación con respecto a los valores promedio. Estos datos también pueden analizarse en términos de la duración y la intensidad de la sequía en relación con la escasez acumulada de precipitación [19,23]. Por ejemplo: el índice estandarizado de precipitación (SPI) es comúnmente utilizado para monitorear la sequía meteorológica en escalas temporales de uno o tres meses. El SPI se expresa como desviaciones estándar de la precipitación observada con respecto de la media a largo plazo, para una distribución normal y distribución de probabilidad ajustada al registro de precipitación real (véase la sección IV.1.1 para una descripción detallada y las ecuaciones). Ya que la precipitación no se distribuye normalmente, se aplica primero una transformación seguida por un ajuste a una distribución normal [24–26]. EL SPI es un índice ampliamente utilizado para caracterizar la sequía meteorológica o el déficit de precipitación, y se le reconoce, a través de la Declaración de Lincoln sobre la Sequía, como el índice preferido internacionalmente para el cálculo y monitoreo de la sequía meteorológica [27].

La **sequía de humedad del suelo** se refiere tanto a **la sequía agrícola** como la ecológica. La sequía agrícola se define más comúnmente como la disponibilidad de agua en el suelo para mantener el crecimiento de los cultivos y el forraje

[19]. Se hace referencia a un período de disminución de la humedad del suelo que posteriormente causa la pérdida de la cosecha o severamente reduce el crecimiento de la hierba, y típicamente no cuenta para los recursos del agua superficial [23]. La disminución de la humedad del suelo puede ser causada por un déficit de precipitación o la diferencia entre la evapotranspiración real (ETR) y la evapotranspiración potencial (ETP). Puesto que la demanda de agua de las plantas depende de las condiciones meteorológicas

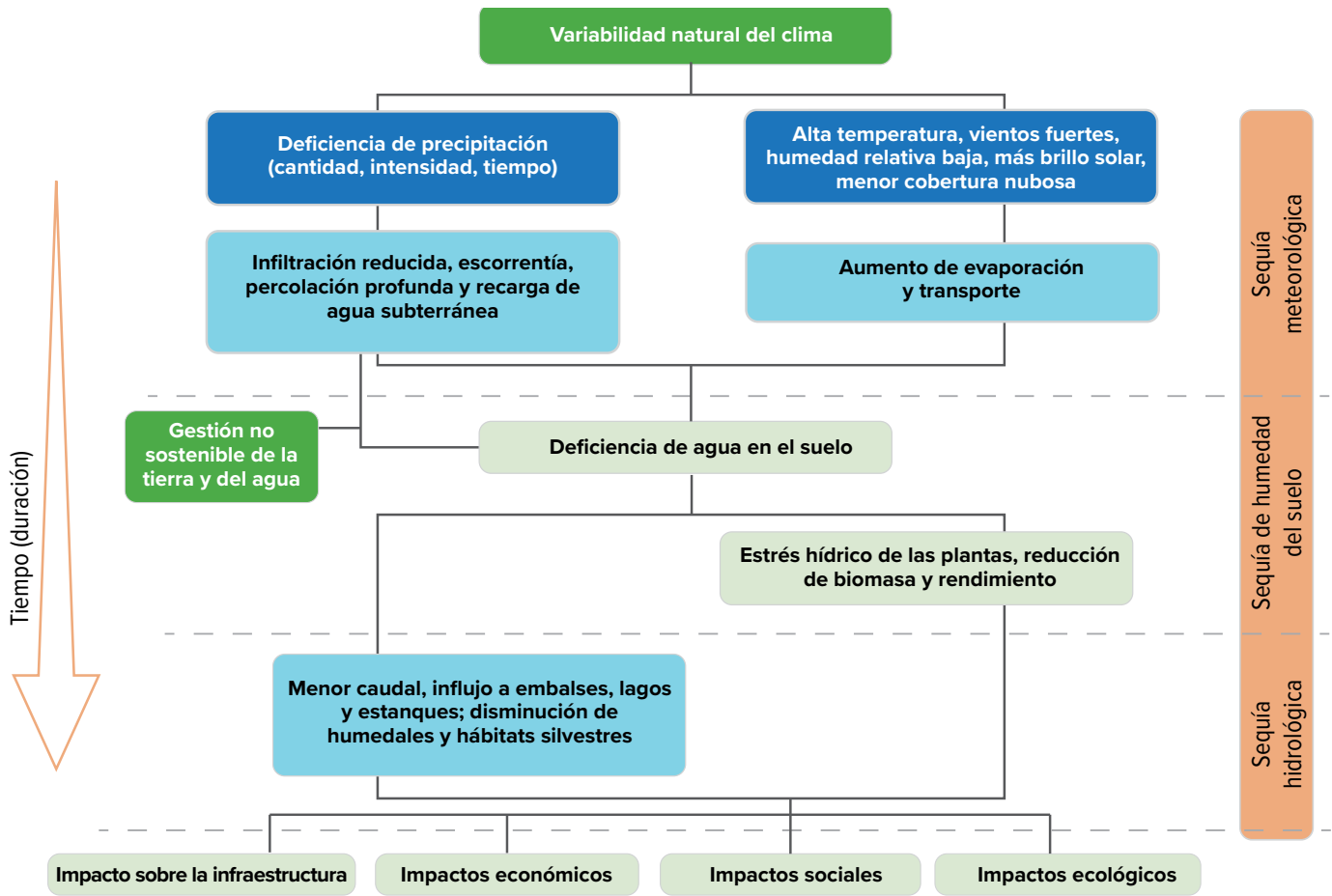


Figura 5. Tipos de sequía, factores causales y su secuencia típica de ocurrencia.

(temperatura/radiación solar, humedad relativa y viento), las características biológicas de la planta específica y su etapa de crecimiento, lo mismo que las propiedades físicas y biológicas del suelo, comúnmente se emplean índices que combinan la precipitación, la temperatura predominante y/o los indicadores de humedad del suelo para evaluar la sequía agrícola.

La **sequía ecológica** también da como resultado un déficit prolongado y extendido en la humedad del suelo o el agua biológicamente disponible, lo que impone múltiples fuentes de estrés en los ecosistemas naturales tanto terrestres como acuáticos. Este tipo de sequía es mucho menos discutido y estudiado que los otros. Sin embargo, debido a que se pronostica que las sequías meteorológicas serán cada vez más frecuentes y severas en determinadas regiones (como el

Mediterráneo y África Occidental), esto puede llevar a un aumento en los incendios forestales y plagas de insectos, la extinción de especies locales, la extinción paulatina de los bosques y tasas alteradas de los ciclos de carbono, nutrientes y agua, todo lo cual puede tener consecuencias reales para los ecosistemas y comunidades humanas por igual [4,22,28]. El monitoreo de la sequía ecológica depende en gran medida del tipo de ecosistema involucrado. Los ecosistemas terrestres vegetados normalmente se evalúan por medio de un índice de vegetación (como el Índice de diferencia de vegetación normalizado (NDVI)), pero el estrés por sequía también puede evaluarse utilizando la temperatura de la superficie de la tierra registrada por teledetección [29]. Para los ambientes acuáticos, los abordajes de monitoreo involucran en gran medida el uso

de datos in situ, aunque también podrían emplear datos de almacenamiento terrestre del agua (por ejemplo: el Experimento de Clima y Recuperación Gravitatoria (GRACE)) u otros enfoques utilizados para monitorear la sequía hidrológica, descritos a continuación.

La **sequía hidrológica**, aunque todavía está influenciada por la deficiencia de la precipitación, se define mejor en términos de la desviación del abastecimiento de las fuentes de agua superficiales y subterráneas de un cierto nivel promedio en cada período de tiempo. Sin embargo, como el abastecimiento de agua es afectado por otros múltiples factores no meteorológicos, como el riego, la recreación, el turismo, el control de inundaciones, la producción de energía hidroeléctrica, el suministro de agua para uso doméstico, la protección de especies en peligro de extinción y la preservación ambiental y ecológica, atribuir una disminución en el suministro y los recursos hídricos a la precipitación no es factible. Además, existen tiempos de retardo en los déficits de precipitación con la consiguiente reducción del agua superficial y/o subterránea. Por último, la determinación de la severidad de la sequía se complica aún más en aquellos lugares donde el suministro de agua se obtienen predominantemente a partir del deshielo [19].

Los datos de caudal se utilizan ampliamente para analizar la sequía hidrológica [23]. La sequía hidrológica se evalúa normalmente a través del modelado hidrológico, aunque recientemente los datos de teledetección por satélite tales como estimaciones de la precipitación por sensores remotos se han utilizado con cierto grado de éxito para el cálculo de los índices de sequía hidrológica como el Índice normalizado de los caudales fluviales (SSFI) [30]. También se han empleado los datos del área de superficie del embalse tomados por teledetección para desarrollar un Índice de sequía en zona de embalse (RADI) para monitorear la sequía hidrológica [31]. Ocasionalmente, la sequía hidrológica puede prolongarse lo suficiente como para causar la disminución de las aguas subterráneas, por lo que se ha utilizado el término sequía de aguas subterráneas en la literatura científica; estos tipos de sequía son evaluados por las disminuciones en el nivel, el almacenamiento o la recarga de las aguas subterráneas [23].

La **sequía socioeconómica** se define por un desequilibrio entre la demanda y el suministro de agua y los impactos resultantes en la sociedad y la economía. Es el menos entendido de todos los tipos de sequía. Como tal, los indicadores socioeconómicos de la sequía están mucho menos desarrollados que los de la sequía meteorológica, agrícola e hidrológica. Puesto que la sequía socioeconómica es normalmente una sequía a largo plazo, potencialmente se puede monitorear empleando los mismos métodos que para otros tipos de sequía pero durante un período

más largo, como si un SPI calculado a través de un período de 12 meses pudiera compararse con la demanda humana de agua en una región y utilizarse para monitorear la sequía socioeconómica. Sin embargo, ya que el componente humano es más intrínseco a la sequía socioeconómica que a otros tipos de sequía, el desarrollo de indicadores específicos para sequía socioeconómica ha recibido recientemente una mayor atención en la literatura científica, y puede incluir mediciones de la variabilidad climática, vulnerabilidad/resiliencia local y demanda de recursos hídricos [20,32].

En resumen, el monitoreo de la amenaza de sequía a menudo integra datos de precipitación, temperatura y humedad del suelo para crear indicadores de sequía, además de incluir otros tipos de datos o combinar datos (como en el cálculo de la evapotranspiración). Dado que el desarrollo de la sequía es un proceso lento y complejo, es difícil de identificar y cuantificar, especialmente cuando se trata de utilizar un marco aplicable a escala mundial; como tal, la sequía se describe con el uso de múltiples indicadores y variables, típicamente organizados por la complejidad del cálculo (nivel de conocimientos técnicos de los usuarios finales) y de sus impactos. Debido a que los diferentes indicadores pueden resaltar diferentes aspectos de la sequía, los indicadores y los datos deben ser cuidadosamente seleccionados con respecto a la característica en mente de la sequía. Además, algunos indicadores tienen deficiencias específicas en el contexto del cambio climático. Por esta razón, la evaluación de los cambios en las características de la sequía (es decir, frecuencia, intensidad, duración) con el cambio climático debe tener en cuenta diferentes indicadores relativos a la frecuencia, intensidad, duración y extensión del área, incluida una evaluación específica de su relevancia a la pregunta dirigida a apoyar conclusiones sólidas.

II.3. Resumen del trabajo de la CNULD, la OMM y Conservación Internacional a la fecha

II.3.1. Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación (CNULD)

II.3.1.1 Antecedentes

En gran parte, la CNULD ha basado su marco escalonado de monitoreo del OE3 en el Sistema mundial de alerta multirriesgo (GMAS) de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el modelo **Riesgo = Amenaza x Exposición x Vulnerabilidad**. En la decisión 11/CDP.14, la CNULD ha adoptado un indicador escalonado de la sequía y un marco de monitoreo [1] que consta de tres niveles complementarios (**Cuadro 1**).

En el marco escalonado de la CNULD para el monitoreo de la sequía, el indicador de amenaza de sequía es el indicador de Nivel 1. Este enfoque para estimar el riesgo de sequía requiere el cálculo de un simple indicador de sequía a nivel mundial con base en índices meteorológicos bien establecidos. Específicamente, el documento ICCD/COP(14)/CST/7 describe un indicador «para el que los datos se producen regularmente en la mayoría de los países, que podrían agregarse dentro de un marco común compatible con las normas internacionales y ser soportados en términos de la recolección de los datos, su análisis y la presentación de informes por medio de un proceso multilateral existente. Lo ideal sería que el desarrollo de los candidatos a métricas/sustitutos para este indicador aprovecharan la colaboración permanente entre los Servicios Meteorológicos e Hidrológicos Nacionales (SMHN) para asegurar que los pasos hacia la normalización se tomen a nivel multilateral con plena consideración de las circunstancias nacionales» [1]. Este índice se utiliza para cuantificar **la amenaza de sequía como la proporción de la tierra en condiciones de sequía sobre la superficie total del país**. Además, el índice candidato debe ser agregable de forma acumulativa de manera que la duración y la intensidad de la sequía proporcionen una medida de la magnitud de la sequía y un indicador indirecto de los efectos e impactos de la sequía.

En el marco de la CNULD, el indicador de exposición a la sequía es el indicador de Nivel 2. Este sencillo método de cálculo de la exposición a la sequía une el indicador simple (de amenaza) de sequía de Nivel 1 con un indicador indirecto de fácil uso y comúnmente calculado para la exposición a la sequía. La exposición a la sequía de Nivel 2 se menciona en el documento ICCD/CDP(14)/CST/7 [1], y se interpreta como «la población

expuesta a la sequía». Esto permitiría el monitoreo del indicador de avance para el OE3 «Tendencias en la proporción de la población expuesta a la sequía con respecto de la población total» y se calcula como el porcentaje de la población expuesta a la sequía para cada clase de sequía de Nivel 1 (**Cuadro 2**). El uso de datos poblacionales con resolución fina cuadrículados asegura que los datos del censo nacional hayan sido mapeados de manera consistente para cada país. La CNULD también menciona otros factores, tales como la densidad de ganado, los cultivos de protección y el estrés hídrico, que podrían utilizarse como sustitutos en el desarrollo de este indicador.

Cuadro 2. Clases de sequía para el indicador de riesgo de sequía de Nivel para el mapeo y monitoreo de la severidad como se definen de manera estadísticamente armonizada, según lo propuesto por la Organización Meteorológica Mundial. Un «evento» es una ocurrencia de sequía; por lo tanto, la definición de un evento variará de acuerdo con la definición de sequía que se utilice. La falta de criterios definidos para un evento contribuye aún más a los desafíos asociados con el monitoreo de la sequía.

Clase de sequía	Número de eventos en 100 años	Severidad del evento
Sin sequía		
D1 (sequía moderada)	33	1 en 3 años
D2 (sequía severa)	10	1 en 10 años
D3 (sequía extrema)	5	1 en 20 años
D4 (sequía excepcional)	2,5	1 en 50 años

El indicador de Nivel 3 de la CNULD sobre vulnerabilidad a la sequía, como se define en el documento ICCD/CDP(14)/CST/7, debe construirse sobre un indicador simple de amenaza de sequía de Nivel 1 (un indicador global de sequía común y fácilmente calculado) y el indicador simple de exposición a la sequía de Nivel 2 simple sequía indicador de exposición (que une el de Nivel 1 con un sustituto para la exposición de la sequía común y fácil de usar, como la población expuesta a la sequía). Este indicador de Nivel 3 es necesario para abordar el OE3 de forma más directa: mitigar, gestionar y adaptarse a los efectos de la sequía a fin de aumentar la resiliencia de los ecosistemas y las poblaciones vulnerables. Además, este indicador permite una mejor identificación de las causas subyacentes de los impactos de la sequía, y es esencial para brindar una orientación a los protocolos de desarrollo de políticas y respuesta. Por lo tanto, este indicador tiene que ser lo suficientemente robusto

como para abarcar los factores físicos, sociales, económicos y ambientales que afectan a la vulnerabilidad y la resiliencia a la sequía tanto de la comunidad como del ecosistema. Actualmente se han hecho algunos avances hacia el desarrollo de un indicador global de vulnerabilidad a la sequía, pero aún tiene que haber una solución definitiva en la prestación de un indicador global que sea comparable entre países a la vez que es pertinente a nivel nacional. Aunque esta es la parte menos desarrollada del marco, es un componente esencial en la aplicación de cualquier marco para monitorear las amenazas de sequía y, posteriormente, informar acerca de las iniciativas de políticas o respuestas. Los principios centrales de la CNUCLD (ICCD/CDP(14)/CST/7) favorecen un índice armonizado que se pueda estandarizar, cuando sea apropiado y factible, para tener en cuenta la variabilidad en las causas y consecuencias de la degradación de la tierra y la gestión sostenible de la tierra, y tener la capacidad de medir y monitorear el impacto. Los indicadores seleccionados deben ser sensibles a la contribución de la DDTs.

II.3.1.2 Brechas y oportunidades relacionadas con el OE3

El marco actual de la CNUCLD no tiene en cuenta la dimensión de la exposición del ecosistema de la misma manera que lo hace para la exposición humana. No tener en cuenta la exposición del ecosistema hace que el marco no facilite la capacidad de medir el avance hacia el OE-3.1 y el Impacto Esperado 3.1 (*la vulnerabilidad de los ecosistemas a la sequía se reduce, incluso a través de las prácticas sostenibles de gestión de la tierra y el agua*) en la misma capacidad como lo hace para la dimensión humana de la exposición. Por lo tanto, la adición de un componente al Indicador de exposición de Nivel 2, que mide la exposición del ecosistema, mejoraría en gran medida ese marco.

Aunque el indicador de exposición humana para el OE3 está bien definido, se requiere más trabajo para el desarrollo de las dimensiones humanas de la vulnerabilidad en relación con la DDTs para el indicador de Nivel 3 - dónde, cuándo, cómo y bajo qué circunstancias las poblaciones humanas son relativamente vulnerables o resilientes ante la DDTs y cómo la acción humana afecta a su vez la DDTs en términos ya sea de impulsarla o mitigarla. Además, el indicador de Nivel 3 podría estructurarse de tal manera que abarque la vulnerabilidad tanto humana como ecosistémica a fin de presentar una evaluación verdaderamente integral de la vulnerabilidad a la sequía. El encuadre, las métricas y la metodología del OE3 sobre vulnerabilidad no están lo suficientemente desarrollados hasta ahora; por lo tanto, entender y cuantificar la vulnerabilidad a la sequía plantea un gran desafío, y la mayor oportunidad para el desarrollo y estandarización del marco de monitoreo y presentación de informes de la CNUCLD con respecto de las sequías. Resaltar los sistemas tanto humanos como ecosistémicos

dentro del marco resultará en un monitoreo más eficaz de las interconexiones entre los dos sistemas, informará acerca de las prácticas sostenibles de gestión del agua y la tierra y, en última instancia, ayudará a reducir el riesgo y aumentar la resiliencia de los seres humanos y de la tierra por igual. Por lo tanto, hay oportunidades significativas para que la CNUCLD y sus organizaciones asociadas desarrollen protocolos e indicadores estandarizados para evaluar y monitorear la vulnerabilidad de los seres humanos y los ecosistemas con base en indicadores genéricos de sequía, ya que son válidos para todos los tipos de actividades/elementos expuestos y, por lo tanto, no se modifican con los cambios en las entidades físicas que se encuentran en riesgo [20]. Por último, el índice integral de vulnerabilidad a la sequía podría incorporar componentes de sensibilidad y capacidad (tanto de sobrellevar como de adaptarse) dentro del marco.

Además, existe la necesidad y la oportunidad de brindar orientación y recomendaciones sobre productos biofísicos y socioeconómicos adecuados a nivel mundial y especialmente explícitos para calcular las métricas incluidas a fin de apoyar el monitoreo de la sequía a todos los niveles de amenaza, exposición, y, sobre todo, vulnerabilidad, lo que resalta la exposición y la vulnerabilidad no solo de las personas, sino también de la tierra. Los productos de conocimiento público cuadrículados ofrecen el método más rentable para monitorear y evaluar los cambios a gran escala de la superficie de la tierra. Por último, existe una necesidad de orientar a los países para que reemplacen esos datos con sus propios datos de manera que se produzcan resultados armonizados a escala mundial para efectuar comparaciones entre países.

II.3.2. Organización Meteorológica Mundial (OMM)

La OMM ha estado trabajando y planificando la implementación de un GMAS para servir como ventanilla única para apoyar a las organizaciones humanitarias de la ONU, los SMHN y otros usuarios a nivel mundial, incluidos los medios de comunicación, en el monitoreo de los riesgos hidrometeorológicos (por ejemplo: sequía, inundaciones, olas de calor). El GMAS respondería a la necesidad de las organizaciones nacionales e internacionales de monitorear la sequía a nivel nacional, regional o global. Con base en el Programa Nacional de Monitoreo de la Sequía de Estados Unidos (EE.UU.) y el sistema europeo MeteoAlarm, el GMAS tiene como propósito tomar las alertas meteorológicas actuales (viento, temperatura, lluvias heladas, etc.) producidas por los servicios meteorológicos e hidrológicos de diferentes países para ayudar a crear alertas meteorológicas. El GMAS fue desarrollado en respuesta al Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030 [13]. La OMM está desarrollando activamente

un **Índice global de sequía (GDI)** como un componente del GMAS, ya que actualmente no existe un sistema parecido en el GMAS o las otras herramientas de la OMM para el monitoreo y la identificación de la sequía a nivel global. La OMM espera lograr la integración de un sistema europeo de monitoreo de la sequía mediante alianzas con las divisiones de los servicios meteorológicos e hidrológicos de varios países europeos, y planea ampliar esta plataforma a nivel mundial para comenzar a informar al nivel más bajo de riesgo de sequía meteorológica (Nivel 1). Los esfuerzos actuales también se centran en la identificación de un índice de sequía apropiado como base para desarrollar el GDI (aunque el índice estandarizado de precipitación o SPI está a la cabeza, puesto que ya está avalado por la OMM y cumple muchos de los criterios que se requerirían para el GDI) y proporcionar recomendaciones sobre producto (s) adecuado (s) (por ejemplo: datos obtenidos desde las estaciones vs. sensores remotos). La OMM indica que los indicadores de sequía deben basarse en la estadística para hacer más fácil su integración al GDI. El objetivo final de la OMM

es la normalización de estos indicadores de sequía en 4 clases de intensidad de la sequía (con base en el índice SPI de sequía de EE.UU.) para que los países informen sobre amenazas de sequía. Sin embargo, esta iniciativa se encuentra en sus primeras etapas de desarrollo (Robert Stefanski, comunicación personal, 1 de septiembre de 2020). A largo plazo, el GDI y el GMAS mejorarán las capacidades de los países y las organizaciones para saber cuándo hay que prepararse o responder a la sequía, con base en la matriz de riesgos propuestas y el sistema asociado de alerta cromático para las amenazas hidrometeorológicas como la sequía (**Figura 6**).

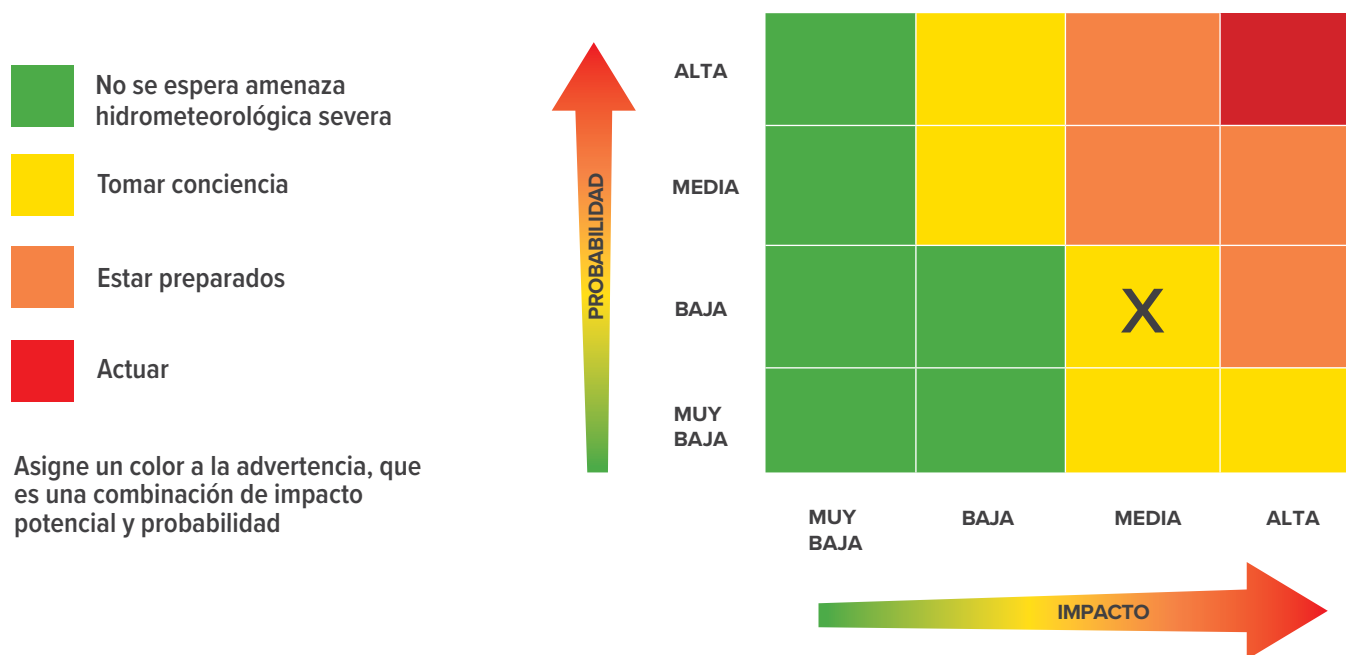


Figura 6. Matriz de riesgo propuesta del Sistema mundial de alerta multirriesgo (GMAS) de la Organización Meteorológica Mundial, de Tong y Cheng et al. (2018). La X indica un ejemplo de donde la combinación de impacto potencial y su probabilidad produce el nivel de advertencia y la asignación del color correspondiente.



El marco de la CNUDL está alineado con el marco GMAS de la OMM, que es una metodología para alinear y estandarizar los cálculos nacionales de sequía de manera coherente para crear una forma fácil de entender sistema global de reporte de sequía con base en un GDI. La OMM recomienda usar el SPI como una prueba inicial ya que cumple con los requisitos de capacidad de agregación (o la capacidad de ser agregado temporalmente, para que coincida con el período de informes de la CNUDL) y normalización. Las clases de Amenaza de sequía definidas para el GMAS se basan en el Monitor de Sequía de Norteamérica, con la excepción de que se elimina la clase Anormalmente Seco (D0) (**Cuadro 2**).

El marco GMAS de la OMM expresa la necesidad de cuantificar la exposición en términos de personas y/o bienes y la necesidad de cuantificar la vulnerabilidad en términos de personas y/o bienes, con el objetivo de mapear un indicador integral del riesgo de sequía en todo el mundo [33]. Puesto que el GMAS todavía está en las primeras etapas de desarrollo, aún no se tiene un producto o conjunto de variables para examinar, validar o de otra manera definir para el monitoreo de la exposición a la sequía. Las OMM indica que la cooperación institucional es fundamental para brindar orientación sobre buenas prácticas acerca de los productos, índices y/o métodos más adecuados.

El marco GMAS de la OMM se centra alrededor del reporte de la amenaza de sequía, lo que representa brechas completas para que los países puedan informar sobre las métricas de exposición o vulnerabilidad ya sea para las poblaciones humanas o los ecosistemas. La creación de métodos normalizados para la incorporación de datos sustitutos para el monitoreo de las dimensiones humanas y ecosistémicas sobre exposición y vulnerabilidad es necesaria a nivel mundial, y representa

un área de oportunidad para la investigación académica y organizacional.

II.3.3. Conservación Internacional

Conservación Internacional, a través de su plataforma de código abierto Trends.Earth, de momento no incluye ninguna capacidad de monitoreo de la sequía en apoyo al OE2 de la CNUDL, aunque el impacto de la sequía sobre la productividad de la vegetación puede analizarse a través de la corrección de clima de la señal del NDVI por medio de diferentes métodos (por ejemplo: uso eficiente de la lluvia, uso eficiente del agua y análisis de tendencias residual) y productos (humedad del suelo, precipitación y evapotranspiración). Por lo tanto, la plataforma Trends.Earth, combinada con este informe, representa una vía para brindar productos y herramientas que podrían ser importantes en el desarrollo de la herramienta de informes para GMAS/GDI de la OMM y para OE3 de la CNUDL, y puede proporcionar un banco de pruebas para los datos e índices que podrían ser validados a nivel mundial y nacional. Trends.Earth actualmente incluye datos sobre precipitación y humedad del suelo, pero estos productos necesitan ser reevaluados para comprobar su idoneidad para el monitoreo de la sequía de Nivel 1. Además, los índices y métodos para monitorear la sequía de Nivel 1 deben ser definidos, y las herramientas adecuadas para la ejecución de estos análisis deben estar disponibles. Entonces, el marco para el monitoreo de las sequias de Nivel 2 y 3 puede establecerse siguiendo el marco propuesto y la orientación de la CNUDL.

III. Recomendaciones del marco de monitoreo para el OE3: Amenaza, exposición y vulnerabilidad a la sequía

III.1. Abordaje propuesto para el monitoreo de la sequía

Nuestro enfoque propuesto de monitoreo de la sequía ha integrado el actual Marco de Monitoreo de la Sequía de la CNUCLD con un indicador adicional de Nivel 2 para dar cuenta de la exposición ecosistémica además de la exposición humana (**Figura 7**).

El indicador de vulnerabilidad de Nivel 3 combina componentes tanto ecosistémicos como humanos a fin de presentar un índice de vulnerabilidad más integral que represente tanto la sensibilidad como la capacidad de los sistemas humanos y ecológicos. Las secciones siguientes presentan una visión general de los productos e índices que se recomienda emplear en cada nivel del marco, incluidas las descripciones detalladas de los índices y productos pertinentes en las secciones VI y V, respectivamente. Para los índices no incluidos en este informe, se recomienda el Manual de Indicadores e Índices de Sequía [32] como una fuente práctica de información para los indicadores de riesgo de sequía biofísicos.

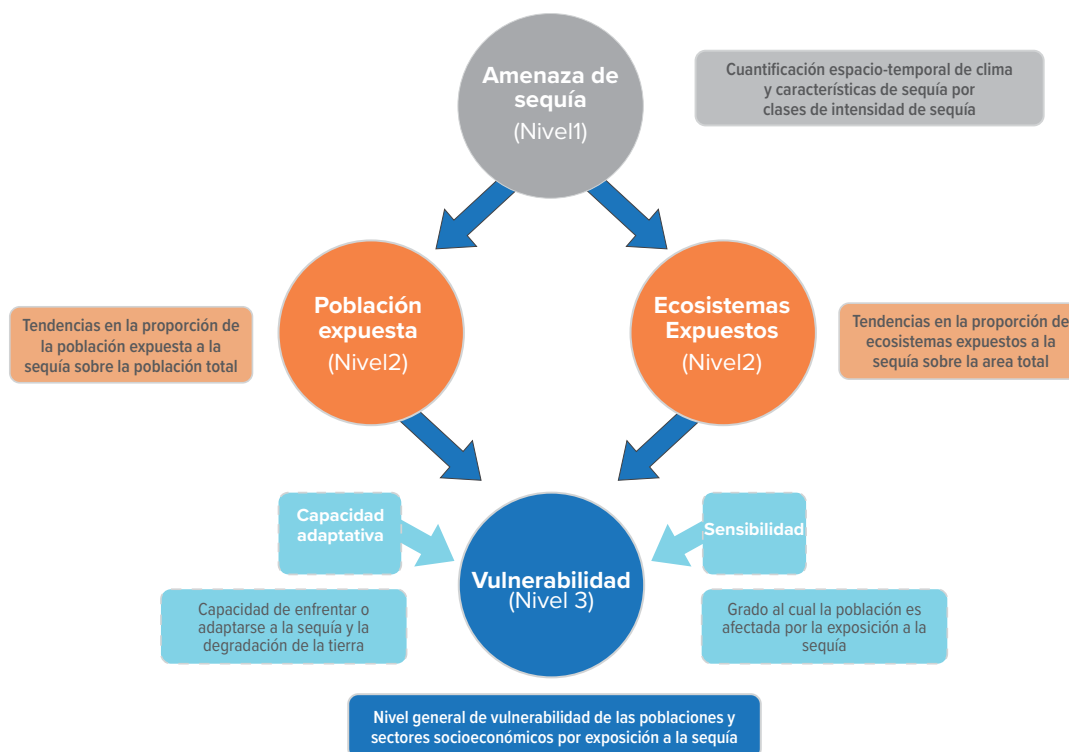


Figura 7. El Marco de Monitoreo de Sequía de la CNUCLD se compone de indicadores de sequía de Nivel 1, 2, y 3 (mostrados como círculos en la figura); el componente de exposición del ecosistema de Nivel 2 actualmente no está incluido en el marco. Además, los recuadros de líneas discontinuas muestran los modificadores de la vulnerabilidad (sensibilidad y capacidad de sobrellevar/adaptarse) que actualmente no están incluidos en el Marco de Monitoreo de Sequía de la CNUCLD.

III.2. Monitoreo de la amenaza de sequía (Nivel I)

III.2.1. Recomendaciones sobre los índices de amenaza de sequía

Para el Nivel 1, la consideración mínima para el monitoreo operacional de la amenaza de sequía debe basarse en un índice de sequía que se derive de los datos de precipitación. Hay muchos índices que se utilizan operacionalmente a nivel mundial, regional o nacional [34]. Tal vez el índice estandarizado de precipitación (SPI) sea el más frecuentemente empleado para caracterizar la sequía meteorológica o el déficit de precipitación, y se le reconoce, a través de la Declaración de Lincoln sobre la Sequía, como el índice preferido internacionalmente para el cálculo y monitoreo de la sequía meteorológica [27]. El SPI se calcula como las desviaciones estándar de la precipitación observada con respecto de la media a largo plazo durante períodos cuya duración típicamente se considera como 30 años de datos, para una distribución normal y distribución de probabilidad ajustada para el registro de precipitación real. Las principales ventajas del uso del SPI para el monitoreo global, el pronóstico y la evaluación del riesgo de sequía es que actualmente se emplea en muchos países en todo el mundo y está avalado por la OMM [27]. Otras ventajas clave son que el SPI representa tanto los déficits como los excedentes de precipitación, y que se puede calcular en diferentes escalas de tiempo (por ejemplo: SPI-3, SPI-6, SPI-12, y el número indica el número de meses a través de los que se calcula el índice). Por lo tanto, considera indirectamente los efectos de los déficit de precipitación acumulados, que son críticos para la humedad del suelo y las sequías hidrológicas.

Mientras el SPI es un fuerte candidato al GDI de la OMM, como es un índice de solo precipitación en algunos contextos puede dejar de captar la complejidad de las condiciones de sequía, como anomalías de temperatura o humedad del suelo. Los índices más robustos, como el Índice estandarizado de precipitación y evapotranspiración (SPEI) podrían utilizarse junto con el SPI o en lugar de este. El SPEI se calcula utilizando la misma metodología que para el SPI, pero incluye un componente de evapotranspiración además del componente de precipitación, y se puede utilizar para evaluar los efectos del cambio climático bajo múltiples escenarios futuros [34] o proporcionar una mejor determinación de la ocurrencia o severidad de la sequía. Laurent-Luchetti et al. [35] recomiendan para la precipitación un valor bruto anual o índice de anomalías (específicamente mencionado como SPI, número de meses debajo de un umbral del SPI) o el uso de una combinación de precipitación y temperatura calculada en escala anual para

destacar las tendencias a largo plazo (por ejemplo: el SPEI).

La inclusión de un índice de sequía con base en la humedad del suelo dentro de una herramienta global de monitoreo de la sequía les proporciona a los países una opción para reemplazar el SPI o mejorar el análisis de sequía con información adicional que puede detectar deficiencias en la humedad del suelo, y por lo tanto tiene el potencial de brindar un monitoreo más preciso del inicio, la intensidad o la duración de la sequía agrícola o ecológica. La humedad del suelo, hasta una profundidad de 5 cm, se reconoce como una variable climática esencial (VCE) por el Sistema Mundial de Observación del Clima de la OMM y se puede utilizar como datos de entrada para el SSI. La inclusión de datos sobre anomalías en la humedad del suelo en los estudios de sequía ha demostrado una buena correlación con el SPI-3 [36]. Al comparar las características de la sequía, las anomalías en la humedad del suelo en la zona radicular (RZSM) exhiben una duración de la sequía relativamente mayor, pero una intensidad menor de la sequía en comparación con los indicadores de sequía meteorológicos. Otro de los beneficios de incluir un índice basado en la humedad del suelo es aumentar la capacidad de los países de detectar y monitorear la sequía en áreas con datos meteorológicos escasos o inexactos.

Alternativamente, una combinación de índices meteorológicos y con base en la humedad del suelo, tales como el SPI y el índice estandarizado de humedad del suelo (SSI) podría aumentar la utilidad de las métricas de amenaza de sequía para múltiples partes interesadas. El SSI es altamente compatible tanto con el SPI como el SPEI, ya que se calcula utilizando la misma metodología utilizando la humedad del suelo como insumo. Debido a que el SSI se calcula utilizando un método estadístico similar tanto para el SPI como el SPEI (en el que el índice cuantifica los valores observados como una desviación normalizada de una función seleccionada de distribución probabilística que modela los datos brutos) y que también utiliza el mismo sistema de clasificación de severidad de la sequía, es más lógico utilizar el SSI sobre otros índices de humedad del suelo disponibles.

Aunque el GDI de la OMM se ha desarrollado con base en un solo insumo (es decir, la precipitación), la existencia de indicadores de sequía combinados (o híbrido) puede ser más adecuada para caracterizar la evolución de las sequías. Algunos ejemplos son el indicador combinado de sequía (CDI) [37], que combina información del déficit de precipitación, déficit de humedad del suelo y el estrés hídrico de la vegetación. Este índice se utiliza operacionalmente en el Observatorio Europeo de la Sequía (EDO). Otros ejemplos incluyen el Índice de Severidad de la Sequía de Palmer (ISSP) [38], ampliamente utilizado operacionalmente en los Estados Unidos, y el Índice estandarizado multivariado de sequía (MSDI) [39], que se



implementa operacionalmente en el Sistema global integrado de predicción y control de la sequía (GIDMaPS) [40].

En resumen, el SPI, SPEI y SSI son índices altamente compatibles y complementarios que se ajustan a los criterios para el GDI de la OMM y se alinean fácilmente con las clases de indicadores de amenaza de sequía de Nivel 1 de la OMM para el mapeo y monitoreo de la severidad (Cuadro 2) de manera estadísticamente armonizada. **Trends.Earth podría incluir el SPI como mínimo, pero también podría incluir el SPEI y el SSI para brindar a los países múltiples medios para que puedan evaluar la amenaza de sequía de una manera alternativa o complementaria que sea consistente con los requisitos tanto de la CNUCLD como de la OMM.**

III.2.2. Recomendaciones acerca de los productos sobre precipitación, temperatura y humedad del suelo

La selección de los datos por emplearse en el cálculo del índice de sequía es también una decisión crítica para una detección efectiva de la sequía operacional y su monitoreo, porque las métricas de sequía pueden variar significativamente con base en las características del producto específico, incluida su técnica de recuperación, método de combinación, período de registro o resolución espacial [41]. Por lo tanto, es importante investigar como la selección del producto puede afectar el análisis y la interpretación de la sequía, incluidos su frecuencia de ocurrencia, patrón espacial y la severidad.

Debido a que existe un número potencialmente ilimitado de opciones en términos de productos disponibles sobre precipitación global, se tiene la necesidad de establecer criterios para un producto adecuado para el monitoreo de la sequía a

fin de proporcionar orientación a los países en la selección del producto. Con base en los criterios de inclusión y exclusión que se describen en la Sección V.1, hay pocos productos globales que cumplen todos o la mayoría de los criterios. Estos incluyen CHIRPS, CMAP, GPCP, y PERSIANN-CDR, que son todos productos combinados de mediciones por satélite y pluviómetros (**Cuadro 3**; véase además la Sección V.2.1 para una descripción completa de estos productos y las ventajas y desventajas de cada uno). **Recomendamos utilizar CHIRPS como el producto primario sobre precipitación para el monitoreo de la sequía, debido a su resolución espacial extremadamente alta, baja latencia y multitud de resoluciones temporales, que lo vuelven eficaz en el monitoreo operacional de la sequía a corto y largo plazo.** Además, ha sido diseñado específicamente para el monitoreo de la sequía, ha sido sujeto a revisión por expertos, la literatura ha demostrado que es eficaz, y actualmente es empleado para este fin por diferentes organizaciones, entre ellas la Red de sistemas de alerta temprana contra la hambruna (FEWS NET), ClimateSERV y Trends.Earth. Sin embargo, debido a que no existe un producto que satisfaga las necesidades de todos los países o individuos que utilizan la plataforma Trends.Earth, sería útil brindar orientación sobre productos alternativos globales (por ejemplo: CMAP, GPCP y PERSIANN-CDR) o nacionales.

Cuadro 3. Cobertura y resoluciones espaciotemporales de los principales productos seleccionados cuadrículados sobre precipitación, temperatura y humedad del suelo.

PRECIPITACIÓN					
Producto	Fuente	Resolución espacial	Cobertura temporal	Resolución temporal	Cobertura espacial
CHIRPS 2.0	CHG UCSB	0,05° x 0,05° (~ 5,5 km en el ecuador)	1981 – fecha	Diario, pentadal, decadal, mensual, bimestral, trimestral, anual	50 N – 50 S
CMAP estándar	NOAA CPC	2,5° x 2,5° (~ 278 km en el ecuador)	1979 – fecha	Mensual, pentada	90 N – 90 S
GPCP v2.3 mensual	NASA GSFC	2,5° x 2,5° (~ 278 km en el ecuador)	1979 – fecha	Mensual	90 N – 90 S
PERSIANN-CDR	NOAA CDR Program / NOAA NCEI	0,25° x 0,25° (~ 27,8 km en el ecuador)	1983 – fecha	1-por hora, 3-por hora, 6-por hora, diario	60 N – 60 S
TEMPERATURA					
Producto	Fuente	Resolución espacial	Cobertura temporal	Resolución temporal	Cobertura espacial
BETP cuadrículado de tierras	Berkeley Earth Group	1° x 1° (~111 km en el ecuador)	1753 – fecha	Diario, mensual	Global
CHIRTS-diario	CHG UCSB	0,05° x 0,05° (~ 5,5 km en el ecuador)	1981 – fecha	Diario	60°S – 70°N
CRUTEM4	CRU, Centro Hadley	5° x 5° (~ 555 km en el ecuador)	1850 – fecha	Mensual	Global
CPC Global Diario	NOAA	0,5° x 0,5° (~55,5 km en el ecuador)	1979 – fecha	Diario	Global
GISTEMP Land v4	NASA	2° x 2° (~ 222 km en el ecuador)	1880 – fecha	Mensualmente, estacionalmente, anualmente	Global
NOAA GlobalTemp V5	NOAA	5° x 5° (~ 555 km en el ecuador)	1880 – fecha	Mensual	Global
HUMEDAD DEL SUELO					
Producto	Fuente	Resolución espacial	Cobertura temporal	Resolución temporal	Cobertura espacial
ERA5	ECMWF	0,28° x 0,28° (~ 31,1 km en el ecuador)	1979 – fecha	Cada hora	Global
ESA CCI v05.2	ESA	0,25° x 0,25° (~ 27,8 km en el ecuador)	1980 – 2019	Diario	Global
MERRA-2	NASA	0,5° x 0,625° (~ 55,5 km x 58,75 km en el ecuador)	1980 - fecha	Cada hora	Global
NASA-USDA Datos globales de humedad del suelo	NASA-USDA	0,25° x 0,25° (~ 27,8 km en el ecuador)	2010 – fecha	3-Diario	Global

Las posibles opciones para los productos globales de temperatura que cumplan con nuestros criterios incluyen Berkeley Earth para datos cuadrículados sobre la tierra, CPC, CHIRTS, GISTEMP Land para tierra, CRUTEM y NOAA Global Temperature para temperatura, aunque CRUTEM, GISTEMP Land y CHIRTS son los más adecuados para su integración en Trends.Earth. De estos, CRUTEM, GISTEMP Land y CHIRTS son los más adecuados para su inclusión en Trends.Earth. CRUTEM y/o GISTEMP Land contienen valores tanto para promedios como anomalías, y por lo tanto se pueden utilizar en una variedad de aplicaciones (Cuadro 3; además, véase la Sección V.2.2. para una descripción detallada de estos productos y las ventajas y desventajas de cada uno). Por ejemplo: los valores brutos se pueden utilizar en el cálculo del SPEI. Estos productos también pueden usarse para monitorear directamente los valores anuales brutos o las anomalías de temperatura, un método recomendado para el monitoreo de los cambios en el clima que pueden afectar la frecuencia o la severidad de la sequía [35]. La CHIRTS ofrece ventajas significativas para el suministro de información en regiones con escasez de datos, ya que combina la información de satélites y tiene una resolución espacial muy superior a todos los otros productos disponibles, además de ser complementario a CHIRPS, nuestro producto de precipitación recomendado. Ya que es menos común incluir los datos de temperatura en el monitoreo de amenaza de sequía comparado con la precipitación, la recomendación es realizar más pruebas. **Recomendamos una evaluación ulterior de CRUTEM, GISTEMP Land y CHIRTS para efectos de su eficacia en el monitoreo de la amenaza de sequía, ya sea a través de una revisión de la literatura o pruebas directas, y el que produzca los resultados más precisos será implementado en Trends.Earth.**

Actualmente hay múltiples productos globales disponibles sobre humedad del suelo, incluidos ERA5, ESA CCI, MERRA-2 y el Producto Global de Humedad del Suelo de la NASA-USDA (Cuadro 3; además, véase la Sección V.2.3. para una descripción detallada de estos productos y las ventajas y desventajas de cada uno). De estos productos, el producto combinado ESA CCI utiliza los datos de microondas por satélite tanto activos como pasivos, en los que las recuperaciones activas tienden a tener un mejor desempeño en zonas con mayor densidad de vegetación, y las recuperaciones pasivas tienden a obtener mejores resultados en áreas con vegetación más escasa [42]. La robustez de este producto para la detección y el monitoreo de la sequía a través de diferentes densidades de vegetación lo hace digno de figurar en las cajas de herramientas globales de monitoreo de la sequía. Sin embargo, ERA5 ha mostrado una correlación general mayor con las observaciones in situ y representa la humedad del suelo a diferentes profundidades dentro de la columna del suelo, lo que podría facilitar el análisis más allá de la capacidad de los demás productos que miden solamente la capa más superficial. **Consideramos que la ESA CCI y el ERA5 son igualmente adecuados para su inclusión en Trends.Earth; la inclusión**

de ambos apoyaría una robusta caja de herramientas para el monitoreo de la amenaza de sequía.

III.2.3. Consideraciones adicionales sobre como monitorear la amenaza de sequía

La amenaza de sequía, como se detalla en el documento ICCD/CDP (14)/CST/7, se recomienda como un «indicador global de sequía de cálculo común y fácil uso para el que los datos se producen regularmente en la mayoría de los países, que podrían agregarse dentro de un marco común compatible con las normas internacionales y tener soporte en la recolección de los datos, su análisis y la presentación de informes por medio de un proceso multilateral existente.» Actualmente, la OMM está trabajando en el desarrollo de un GDI que se basa en el SPI pero permite a los países ingresar los índices que usen a nivel nacional (por ejemplo: el índice de deciles de Australia [34]), y que luego será ajustado a una clasificación mundial de sequía. Esto les permitirá a los países utilizar productos e índices de su propia elección a la vez que se facilita analizar los patrones globales de ocurrencia de sequía (si se ha producido una sequía y cuándo), su severidad (definido por el rango en la clasificación de la sequía) y su duración.

Si bien muchos países tienen programas por los cuales se cuantifica la ocurrencia y severidad de la sequía, rara vez se monitorea o reporta el impacto de esta. Sin embargo, la sequía tiene impactos de corto y largo alcance en prácticamente todo tipo de actividades relacionadas con el agua, la economía y la sociedad. Karavitis et al. [16] describen dos enfoques metodológicos que se pueden utilizar para estudiar y evaluar los impactos de la sequía. El primero es un «abordaje de causa y efecto» en el que la sequía opera en una determinada actividad o produce un cierto impacto. El segundo es un «enfoque de interacción», que sugiere que los diversos procesos (físicos, económicos o sociales) pueden influir en una actividad con efectos integrados e interrelacionados a esa actividad. Se favorece más un abordaje de interacción, donde los impactos de primer orden están relacionados con el ciclo hidrológico (es decir, precipitación, escorrentía, flujo de corriente). Los impactos de segundo orden tienden a influir en las actividades humanas como la agricultura e industria, la población urbana y el transporte. Los impactos de tercer orden pueden considerarse como adaptaciones a los impactos de primer y segundo orden (como la pérdida de ingresos, ajustes en el estilo de vida, o el racionamiento de agua). En el contexto del monitoreo de la sequía, los impactos deben clasificarse de acuerdo con un marco claro e integral, lo que lleva a respuestas potenciales en el proceso de toma de decisiones. Carrão et al. [20] sugieren que es más importante enfocarse en los indicadores de sequía genéricos ya que son válidos para todos los tipos de actividades/elementos expuestos, y por lo tanto no se alteran con los cambios en las entidades físicas que se encuentran en riesgo.

III.3. Monitoreo de la exposición a la sequía (Nivel II)

III.1.1. Recomendaciones sobre los productos poblacionales para el monitoreo de la exposición humana a la sequía

Debido a que el indicador de exposición a la sequía de la CNULD se basa en el indicador de riesgo de Nivel 1 mediante la superposición de los datos de población, esta sección discute los productos relevantes sobre población (**Cuadro 4**), además de productos adicionales que podrían utilizarse para evaluar la exposición más allá de una métrica de densidad poblacional (**Cuadro 4**).

El uso de la superposición de la población como sustituto para el cálculo de la exposición a la sequía es un método directo. Saber cuántas personas están directamente afectadas por la sequía puede ayudar a que se asigne la ayuda a las áreas más necesitadas, con base en el porcentaje de la población expuesta y la fuerza de dicha exposición (severidad de la sequía). Este método también puede servir como sustituto con respecto de la sequía socioeconómica [20]. **Los datos de GPWv4 o WorldPop serían buenos candidatos a producto para el cálculo de este indicador: cumplen los criterios de la CNULD de ser de libre acceso a la vez que tienen una resolución espacial fina; son productos cuadriculados que utilizan un método consistente**

de mapeo de datos del censo nacional; y, además, permiten su desglose por género.

El cálculo del desglose por género para el indicador poblacional de Nivel 2 se realiza con base en el porcentaje de individuos masculinos y femeninos en cada celda de la cuadrícula. Los resultados incluirían información sobre la exposición por género (porcentaje masculino y femenino) expuestos a cada clase de sequía de Nivel 1. Esto produciría dos cuadrículas comparables que podrían agregarse a los límites administrativos, si se desea, donde las relaciones espaciales globales y locales entre el género y la ocurrencia y/o severidad de la sequía pueden cuantificarse visualizarse mejor.

Además del desglose por género, también puede ser útil desglosar para efectos de comparar la exposición de la población rural versus la urbana, lo que podría lograrse utilizando datos de la Capa Global de Asentamientos Humanos del Centro Común de Investigación (CCI) de la Comisión Europea. Las características de estos productos se resumen en el **Cuadro 4**.



Cuadro 4. Productos globales cuadriculados para el monitoreo de la exposición ecosistémica a la sequía y la exposición humana a la sequía con base en la población: Resumen de las características. Las capas de asentamientos se incluyen como modificador para la exposición humana, y pueden desglosarse por poblaciones urbanas/rurales.

Producto	Fuente	Resolución espacial	Cobertura temporal	Resolución temporal	Cobertura espacial	Fuente de los Totales poblacionales a nivel nacional	Desglose por género
Exposición ecosistémica							
Biomás antropogénicos v1	NASA SEDAC/ CEISIN	5 minutos de arco (~ 86 km en el ecuador)	2001-2006	Anual	Global	N/A	No
Exposición humana Densidad poblacional							
GHS-POP	CIESIN, CCI	9 segundos de arco (~ 250 m en el ecuador), 30 segundos de arco (~ 1 km en el ecuador)	1975, 1990, 2000, 2015	Irregular	Global	Estimaciones y proyecciones del PNUD	No
GPW v4	NASA SEDAC/ CEISIN	30 segundos de arco (~ 1 km en el ecuador)	2000, 2005, 2010, 2015, and 2020	Cada 5 años	Global		Sí
GRUMP v1	CIESIN, IFPRI, Banco Mundial, CIAT	30 segundos de arco (~ 1 km en el ecuador)	1990, 1995, 2000	Irregular	Global	Estimaciones y proyecciones del PNUD	NO
Base de datos poblacional mundial LandScan	ORNL	30 segundos de arco (~ 1 km en el ecuador)	1998, 2000 – 2018	Emisión anual, la de 2019 está prevista para el otoño de 2020	Global	Oficina del Censo de EE.UU	No
WorldPop	WorldPop	3 segundos de arco (~ 100 m en el ecuador)	2000-2020 a nivel mundial y años específicos en los países	Anual	Global	Dos versiones: 1) Estimaciones oficiales de los países, y 2) estimaciones y proyecciones del PNUD	Sí
World Population Estimate	ESRI	150 m x 150 m [2016], 250 m x 250 m [anteriores]	2013, 2015, y 2016.	Irregular	Global	Estimaciones oficiales de los países con 134 países procesados posteriormente por Michael Bauer Research GmbH.	NO
Capas de asentamientos							
Capa Global de Asentamientos Humanos - Cuadrícula acumulada (GHS-BUILT)	CCI de la Comisión Europea	30 m x 30 m, 250 m x 250 m, 1 km x 1 km	1975, 1990, 2000, 2015	Irregular	Global	N/A	NO
Capa Global de Asentamientos Humanos - Modelo de asentamientos (GHS-SMOD)	CCI de la Comisión Europea	1 km x 1 km	2015	Irregular	Global	N/A	NO

III.3.2. Consideraciones y recomendaciones adicionales para monitorear la exposición de la población a la sequía

En general, los datos de exposición identifican diferentes tipos de entidades físicas, incluidos los activos construidos, la infraestructura, la tierras agrícolas y las personas, entre muchos otros [20]. En general, existen muchas dificultades relacionadas con la identificación, normalización y combinación de estos elementos dispares; por lo tanto, a la fecha la literatura se ha enfocado principalmente en los indicadores socioeconómicos. Una medición integral de la exposición a la sequía tendría en cuenta no solo la distribución espacial de la población, como se describió anteriormente, sino que también la inclusión de entidades físicas amenazadas, incluyendo los rendimientos agrícolas/áreas de cultivo (sequía agrícola), ganado (sequía agrícola), estrés hídrico industrial/doméstico o disponibilidad de agua (sequía hidrológica en ambos casos) y la vegetación (sequía ecológica) [20,35].

El marco recomendado por la CNUCLD para evaluar y monitorear la exposición a la sequía se basa únicamente en los datos de población humana; sin embargo, hay muchos otros factores afectados por la sequía en el corto plazo, y la degradación de la tierra/desertificación en el largo plazo, que proporcionan medios alternativos o adicionales para evaluar la exposición a la sequía. Las consideraciones adicionales que aquí se exploran relacionadas con la exposición humana son los indicadores relativos a la dependencia de la agricultura/ganadería, o los indicadores relacionados con la salud humana, es decir el riesgo de enfermedades respiratorias debidas a materia fina particulada en el aire, que se agravan por la sequía y las tormentas de polvo. Estas consideraciones adicionales para evaluar la exposición a la sequía pueden incluir métricas sobre seguridad alimentaria, mortalidad y morbilidad (incluidas las infantiles) o las métricas de subnutrición o desnutrición, las evaluaciones de la composición de los medios de sustento por medio de diversos capitales (capital natural, social, físico, económico y financiero), la dependencia del agua superficial vs. la extracción de aguas subterráneas para la agricultura de secano vs. La agricultura de regadío, y otras métricas que abordan la sensibilidad de la población y su capacidad de adaptación. El uso de sustitutos alternos para la exposición, como la densidad del ganado, los cultivos de cobertura o rendimientos anuales reportados, el estrés hídrico, la dependencia de la agricultura de secano, o los mecanismos de adaptación (por ejemplo: la venta de madera para sobrevivir a períodos de sequía, la migración, el trabajo asalariado, etc.) hace que el desglose por género sea más complicado, ya que los productos relacionados con estos factores no incluyen un componente de género de forma intrínseca.

Entonces, un método para la integración de otros factores de exposición, como la densidad de ganado, con los datos poblacionales, incluida su posterior desglose por género, tendría que probarse y validarse antes de su implementación.

En nuestro marco incluimos muchos de estos indicadores de exposición adicionales dentro de nuestro índice de vulnerabilidad de Nivel 3 que se describe en la Sección III.4, a fin de conservar la sencillez de la métrica de Nivel 2 actual de la CNUCLD. Estos productos, así como otros productos pertinentes al indicador de Nivel 3, se incluyen en el **Cuadro 5** y se discuten en detalle en la Sección V. Por último, se exploran los indicadores de exposición ecosistémica que se calculan de manera que armonice con el indicador actual de Nivel 2 para las tendencias de exposición humana, y define las tendencias en la proporción de los ecosistemas expuestos a la sequía de la superficie total, desglosado por severidad de la sequía.

III.3.2.1. Agricultura, densidad de ganado y demanda de agua como indicadores adicionales para la exposición a la sequía

En las regiones que son explotadas intensivamente para la agricultura y/o se espera que se experimentarán sequías más frecuentes e intensas debido al cambio climático, la evaluación de la exposición humana a la sequía a través de los datos agrícolas puede indicar las zonas con mayor riesgo de inseguridad alimentaria donde se deben establecer planes de mitigación. Los rendimientos agrícolas pueden medirse directamente por los datos de rendimiento, cuando estén disponibles, aunque a nivel global hay muchos problemas con este método, incluidas la disponibilidad de datos y la falta de uniformidad de los productos disponibles. Los medios alternativos de monitoreo de la exposición incluyen el uso de la precipitación como sustituto (por ejemplo: SPI-3 o SPI-6, que han demostrado tener buena correlación con los índices de sequía agrícola como ISSP), las tasas de áreas cultivadas o los modelos económicos [35]. Cualquiera de estos métodos podría proporcionar un medio para evaluar la exposición humana a la sequía agrícola. Carrão et al. [20] utilizaron los datos del Total de Tierras Agrícolas del Año 2000 como indicador indirecto de las áreas de cultivos, lo que representa la extensión y la intensidad del uso de la tierra cultivada. No recomendamos este producto debido al hecho de que tiene dos décadas de atraso y puede no representar las condiciones actuales, pero sugieren que si se produce un producto actualizado que podría emplear. La exposición a la sequía agrícola también puede utilizar el ganado como sustituto - Carrão et al. [20] utilizaron los Datos organizados de ganado a nivel mundial (GLW), una colección que proporciona densidades de ganado modeladas en todo el mundo.



La disminución de la disponibilidad de los recursos hídricos es quizás una de las consecuencias más evidentes de la sequía sobre las poblaciones expuestas, y cuando la disponibilidad de agua se reduce constantemente durante largos períodos de tiempo puede ocurrir sequía hidrológica. La disponibilidad de recursos hídricos puede modelarse utilizando los resultados de los modelos hidrológicos; sin embargo, estos pueden ser difíciles de construir si no hay disponibilidad de datos exactos. Representan un área bastante especializada donde muchas personas pueden no tener acceso a los recursos o los conocimientos necesarios para una implementación exitosa. Carrão et al. [20] utilizaron el producto de estrés hídrico de línea base (BWS), un indicador de la demanda relativa de agua (**Cuadro 5**). Otro sustituto podría ser la disponibilidad de agua potable. La mayoría de los países en desarrollo utilizan agua de pozo, por lo que el nivel de agua en los pozos puede servir como un indicador si esos datos están fácilmente disponibles. Además, a través de métodos de interpolación espacial, los niveles de agua en los pozos se pueden combinar con información adicional, como la elevación y la pendiente, y ser transformados en datos cuadrículados que representan las aguas subterráneas.

Recomendamos, con el fin de mantener la métrica de presentación de informes sobre la exposición humana de Nivel 2 de la CNULD lo más simple posible, que estos datos no se usen en el indicador de Nivel 2 sino que podrían reservarse para construir el indicador de vulnerabilidad integral de Nivel 3 de la CNULD. Las características de estos productos se resumen en el **Cuadro 5**.

Cuadro 5. Resumen de las características de los productos seleccionados para la construcción de índices de vulnerabilidad a la sequía.

Producto	Fuente	Resolución espacial	Cobertura temporal	Resolución temporal	Cobertura espacial	Desglose por género
ECOLÓGICOS						
Gestión de la tierra						
Paisajes Forestales Intactos (IFL)	Equipo de mapeo de IFL	Subnacional	2000, 2013, 2016	Irregular	Global	No
ESA CCI-LC (Mapas MRLC v207)	Agencia Espacial Europea	300 m x 300 m	1992 - 2015	Anual	Global	No
Cobertura Global de la Tierra v3.0	Copernicus Global Land Service (Componente Global del Servicio de Superficie Terrestre del Programa Copérnico)	100 m x 100 m	2015 - 2019	Anual	Global	No
Productividad vegetativa						
AVHRR/GIMMS	NASA	8 km x 8 km	1981 - 2015	Mensual	Global	No
MOD13Q1-coll6	NASA/USGS	250 m x 250 m	2000 - fecha	Combinación de 16 días	Global	No
Carbono orgánico del suelo						
SoilGrids V 2.0	ISRIC	250 m x 250 m	2015	Estático	Global	No
Presión sobre los recursos						
WorldPop	WorldPop	3 segundos de arco (~ 100 m en el Ecuador)	2000 - 2020	Anual	Global	Sí
Global Human Footprint (Huella Humana Global) v2	WCS y CIESIN	1 x 1 km	1995 - 2004		Global	No
Estrés hídrico de línea base (BWS)	Instituto de Recursos Hídricos	Nacional	2013	Estático	Global	No
Áreas protegidas						
Base de Datos Mundial sobre Áreas Protegidas (WDPA)	PNUMA y UICN	Subnacional (vector y cuadro)		Actualizaciones mensuales; última en septiembre de 2020	Global	No
ECONÓMICOS						
Bienestar económico						
Datos económicos organizados geográficamente (G-Econ) 4.0	Universidad de Yale y CIESIN	1° x 1° (~ 111 km en el Ecuador)	1990, 1995, 2000, 2005			No
Seguridad alimentaria						
Indicadores de seguridad alimentaria de FAOSTAT	FAO	Nacional	2000 - 2020	Anual	Global	No
Producto sobre puntos críticos de inseguridad alimentaria v1	NASA SEDAC/CEISIN	250 m x 250 m	2009 - 2019	Anual	Regional*	No

Continuación del cuadro 5

Pobreza						
Índice de Pobreza Multidimensional (IMP)	OPHI	Nivel de hogares, subnacional, nacional	2010 - 2020	Anual	Cuasi mundial	Sí
Encuestas demográficas y de salud	Programa EDS	Nacional, subnacional	1984 - 2020	Anual	Cuasi mundial	Sí
SOCIAL						
Desarrollo humano (individual)						
Encuestas demográficas y de salud	Programa EDS	Nacional, subnacional	1984 - 2020	Anual	Cuasi mundial	Sí
Indicadores de desarrollo del Banco Mundial	Banco Mundial	Nacional	2000–2019	Anual	Global	No
WorldPop	WorldPop	3 segundos de arco (~ 100 m en el Ecuador)	2000 - 2020	Anual	Global	Yes
Coordinación institucional.						
Indicadores mundiales de gobernanza	Banco Mundial	Nacional	2009, 2014, 2019	Cada 5 años	Global	No
Organización de Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE)						
Desplazamiento humano						
Indicadores de desarrollo del Banco Mundial	Banco Mundial	Nacional	2000–2019	Anual	Global	No
Variables globales sobre migración (Persona)	IPUMS International	Persona	1960 – 2018 (dependiendo de la variable y el país)	Anual	Países seleccionados	Sí
Flujos migratorios internos WorldPop	WorldPop	Subnacional	2005 - 2010	N/A	PBMI	No
Salud						
Cuadrículas globales anuales de PM 2.5 de MODIS, MISR y SeaWiFS AOD con GWR, v1	NASA SEDAC	0,1° x 0,1° (~11.1 km en el Ecuador)	1998 – 2016			
Modelo de integración de datos para la calidad del aire (DIMAQ)	OMS	0,1° x 0,1° (~ 11.1 km en el Ecuador)	2016			
INFRAESTRUCTURA						
Infraestructura hídrica						
Encuestas demográficas y de salud	Programa EDS	Nacional, subnacional	1984 - 2020	Anual	Cuasi mundial	Sí
Datos de agua, saneamiento e higiene (WASH)	OMS/UNICEF	Nivel nacional, de hogares	2000 – 2017	Anual	Global	No
Potencial de irrigación						
Mapa global de zonas de regadío	FAO	5 minutos de arco (~ 86 km en el Ecuador)	2005	Un año	Global	No

III.3.2.2. Efectos sobre la salud humana: Mortalidad global y enfermedades respiratorias atribuibles a la contaminación del aire ambiente y otros riesgos debido a la degradación de la tierra, la sequía y las tormentas de polvo

La degradación de la tierra y la desertificación pueden afectar la salud humana a través de una variedad de vías directas e indirectas. A medida que las fuentes de agua se secan, la comida escasea, la contaminación del aire y las tormentas de polvo se incrementan, y las personas se ven presionadas a alejarse de estos ambientes inhóspitos. En estas circunstancias, los efectos sobre la salud humana pueden incluir la desnutrición, las enfermedades relacionadas con el agua y la higiene, las enfermedades transmitidas por los alimentos, las enfermedades respiratorias y otras enfermedades infecciosas que se diseminan con las variaciones en los recursos hídricos y la migración de las poblaciones humanas.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) está empezando a monitorear y cuantificar la carga ambiental global de las enfermedades debidas al cambio climático, la degradación de la tierra y la sequía, prestando una atención acelerada a estas cuestiones recientemente. En primer lugar, se recopiló una lista de «enfermedades sensibles al clima» y se puso en marcha una encuesta de los países miembros para recopilar los datos reportados acerca del estado de las actividades de monitoreo y mitigación de cada país para las enfermedades relacionadas con el clima, con el objetivo de apoyar la toma de decisiones basada en la evidencia y fomentar la participación del sistema de salud en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio climático (CMNUCC). Las encuestas sobre clima y salud han culminado en una colección de perfiles de país para 2015/16 y 2019/20 (en curso) accesible en línea⁵.

Entre los impactos directos e indirectos sobre la salud por la degradación de la tierra y la sequía, uno de los más estudiados y fácilmente cuantificable se deriva de la contribución de la sequía a la cantidad de material particulado atmosférico en aerosol y el riesgo que representa para la salud respiratoria. Según la OMS, se estima que 6,5 millones de personas mueren cada año debido a la contaminación atmosférica y sus efectos en la salud. Existen varios productos espacialmente cuadrículados

para monitorear las concentraciones ambientales de PM_{2.5} (una estimación modelada de la concentración de partículas de 2,5 um y más pequeñas como fracción de la materia particulada en el aire, y un sustituto para la contaminación del aire ambiente). Dos productos para el monitoreo de PM_{2.5} que cumplen con nuestros criterios de inclusión son «Cuadrículas anuales de PM_{2.5} de MODIS, MISR y la Profundidad Óptica de Aerosoles (POA) con GWR del SeaWiFS, v1 (1998-2016)» del Centro de Datos y Aplicaciones Socioeconómicas (SEDAC) de la NASA⁶ y «Modelo de Integración de Datos para la Calidad del Aire (DIMAQ)»⁷ de la OMS. Ambos están libremente disponibles y tienen una resolución espacial de 0,1 x 0,1 grados, pero este último incluye estimaciones de incertidumbre mientras que el primero no lo hace. La inclusión de datos cuadrículados en las estimaciones de la incertidumbre trae beneficios a los tomadores de decisiones debido a que el número de sensores basados en tierra varía ampliamente entre diferentes lugares, lo que hace de la incertidumbre algo variable y desigual, y las estimaciones son más confiables en algunas regiones que en otras.

Una consideración importante en el monitoreo de los efectos de la sequía y la desertificación sobre la salud es la cuestión de atribución. Es decir, dadas las diferentes causas de enfermedad y su interacción entre ellas, hay que separar la carga de la enfermedad resultante de una exposición en particular, como la sequía. Los profesionales de la salud a nivel mundial han utilizado métodos estandarizados para medir la «fracción atribuible» de la carga total de una enfermedad en particular a cada exposición, incluidos métodos detallados sobre como atribuir una fracción de las enfermedades respiratorias a la contaminación del aire ambiente [43,44]. Lo que queda más nebuloso es la medición de la fracción de la contaminación del aire que es aportada por la sequía, la desertificación y la degradación de la tierra. Algunas estimaciones sugieren que hasta un 50% de los aerosoles troposféricos se compone de polvo del desierto [45], pero la contribución de los desiertos y la desertificación a los aerosoles atmosféricos es menos conocida. Los estudios futuros acerca del impacto del aprovechamiento y la degradación de la tierra sobre la contaminación por material particulado fino se podrían utilizar para diseñar abordajes optimizados para el aprovechamiento de la tierra para mitigar tanto la desertificación como la contaminación por PM_{2.5}, con beneficios potenciales para la salud.

El Instituto de Métricas y Evaluación de la Salud⁸ (IHME) es un instituto con sede en Seattle (Washington, EE.UU.) que compila métricas sobre la salud cuantitativas, especialmente explícitas

5 <https://www.who.int/globalchange/resources/countries/en/>

6 <https://sedac.ciesin.columbia.edu/data/set/sdei-global-annual-gwr-pm2-5-modis-misr-seawifs-aod>

7 <https://www.who.int/airpollution/data/modelled-estimates/en/>

8 <http://www.healthdata.org>

(al menos a nivel de país y a veces de sub-país) y desagregables por género para más de mil enfermedades en todo el mundo. El IHME ha incorporado recientemente nuevos datos sobre las estimaciones de carga para la salud debidas a las temperaturas extremas y la contaminación del aire ambiente, entre otros riesgos ambientales pertinentes [46]. La última versión de las estimaciones de Carga Global de la Enfermedad⁹ será publicada por el IHME en colaboración con la OMS¹⁰ a mediados de octubre el 2020. Con cada nueva versión, los datos se recopilan desde varias décadas atrás, lo que permite analizar los cambios a través del tiempo. Los datos sanitarios mundiales, incluidas las estimaciones de la carga mundial de enfermedades y algunos factores de riesgo ambientales relevantes (por ejemplo, temperaturas extremas, contaminación del aire ambiente), se pueden explorar y descargar del Intercambio Mundial de Datos de Salud¹¹. Estos datos podrían convertirse en parte integral del monitoreo y reporte de los impactos sobre la salud de la degradación de la tierra, la desertificación y la sequía por los países miembros de la CNUCLD.

III.3.2.3. Exposición ecosistémica: un componente pasado por alto del Marco de Monitoreo de la Sequía de la CNUCLD

Aunque el Marco actual de Monitoreo de la Sequía de la CNUCLD no se refiere directamente a la exposición de los ecosistemas a la sequía, esta información es fundamental en la detección temprana de cambios potencialmente perjudiciales en las funciones ecosistémicas y salvaguarda el uso sostenible de los ecosistemas y sus servicios, apoya la gestión de los ecosistemas y ayuda el análisis de las debilidades que crean un ecosistema vulnerable a la sequía -o su capacidad de recuperación después de estar expuesto [17].

La exposición de un ecosistema expresa un pronóstico del grado de cambio que experimentará, y, de acuerdo con la brusquedad del cambio, los términos 'perturbación' y 'estrés' se aplican en situaciones que son abruptas y continuas, respectivamente [17]. De manera más simple, la exposición describe el hecho de que un ecosistema está en contacto con un factor de estrés (en este caso la sequía). Los diferentes métodos para el cálculo de la exposición se presentan en la literatura científica, incluyendo la determinación de la probabilidad de que ocurra la perturbación o de su proximidad espacial al ecosistema; alternativamente, se sugiere para determinar la zona amenazada [47]. En el cálculo de probabilidades, la exposición de un ecosistema a un cierto

factor de estrés está determinada por la calidad del factor de estrés (por ejemplo: su persistencia o capacidad de propagación) y las calidades de los ecosistemas afectados. En una escala global, es posible implementar el producto Biomasa Antropogénica. El producto Biomasa Antropogénica (**Cuadro 4**) describe los patrones ecológicos globalmente significativos dentro de la biosfera terrestre que son causados por una interacción humana directa y sostenida con los ecosistemas, incluidas la agricultura, la urbanización, la silvicultura y otros usos de la tierra alrededor del año 2001 hasta 2006 [48]; la contabilización directa del aprovechamiento de la tierra y las actividades de gestión de la tierra dentro de este producto hace que sea muy adecuado para el monitoreo de la sequía en el contexto de la DDTs. Sin embargo, con el fin de armonizar este indicador con el OE1, el uso de las clases de cobertura de la tierra que los países deben reportar como parte del OE1 (cubierto de árboles, pastizales, cultivos, humedales, urbano, otros y agua) representa una mejor oportunidad de crear vínculos entre la evaluación de la degradación de la tierra y la exposición de los ecosistemas, son fáciles de calcular y más fáciles de interpretar y comunicar. **Por lo tanto, recomendamos que se pueda calcular la exposición ecosistémica como la proporción de cada clase de cobertura de la tierra utilizada en el reporte del OE1 que se ve afectada por la sequía, clasificadas ulteriormente de acuerdo a la clase de severidad de la sequía.** El uso de una proporción en lugar de una probabilidad tiene también mejor armonía con la métrica actual de la CNUCLD de exposición de la población.

III.4. Monitoreo de la vulnerabilidad a la sequía (Nivel III): Hacia un indicador integral de vulnerabilidad a la sequía

III.4.1. Reseña de los índices de vulnerabilidad a la sequía existentes: fortalezas y limitaciones

Hay una variedad de formas de definir y medir la vulnerabilidad a la sequía. En primer lugar, la vulnerabilidad social está relacionada con el nivel de bienestar de los individuos. La vulnerabilidad económica depende en gran medida de la situación económica de los individuos. La vulnerabilidad de la infraestructura comprende la infraestructura básica necesaria para apoyar la producción de los bienes y mantener los medios de sustento. La vulnerabilidad ecosistémica se

9 <http://www.healthdata.org/gbd>

10 [Data collection tools - WHO](http://www.healthdata.org/gbd)

11 <http://ghdx.healthdata.org>

centra en los hábitats y el suministro de alimentos del cual las plantas, los animales y los seres humanos dependen. Debido a la complejidad intrínseca en el monitoreo de la vulnerabilidad, un solo factor por sí solo no puede caracterizar de manera suficiente todos los diferentes resultados relacionados con los medios de sustento que necesitan las sociedades para ser resilientes a la desertificación, la degradación de la tierra y la sequía.

El CCI ha desarrollado un marco que integra 15 componentes económicos, sociales y de infraestructura relacionados con la vulnerabilidad a la sequía, derivados de fuentes de datos globales; véase la Sección IV para los detalles metodológicos y los 15 componentes en este índice [20]. Este marco recomienda que los indicadores de vulnerabilidad a la sequía abarquen los factores ortogonales sociales, infraestructurales y económicos que sean genéricos y válidos para cualquier región [20]. Lo que le falta a este marco es una contabilización de los factores ambientales pertinentes que afectan la vulnerabilidad de los ecosistemas. También se enfoca en los resúmenes de datos, agregados a nivel de país o sub-país, tales como los datos del Banco Mundial, en lugar de centrarse en productos espacialmente cuadrículados.

El marco ha sido probado a nivel regional [32], lo que indica que existe el potencial de mejorar la resolución a nivel mundial luego de pruebas y validaciones. Blauhut et al. [32] evalúan la vulnerabilidad a la sequía empleando factores destinados a capturar los componentes de exposición, sensibilidad y capacidad de adaptación. Si bien este estudio se llevó a cabo únicamente a través del continente europeo, su metodología aborda de manera más integral el OE3 comparado con el marco del CCI, ya que incluye factores ambientales que influyen en la vulnerabilidad ecosistémica. Debido a que los productos y algunos de los factores incluidos en el estudio Blauhut son específicos para Europa, esos productos y factores específicos no se presentan en este informe, ya que pueden no ser traducibles a una escala global. Sin embargo, el marco de estudio Blauhut se puede utilizar para orientar parcialmente el desarrollo de un indicador mundial integral de vulnerabilidad a la sequía.

Dos marcos adicionales de vulnerabilidad a la sequía que se han propuesto son: el índice de vulnerabilidad a la sequía (DVI) desarrollado por Naumann et al. [49], y el Índice estandarizado de vulnerabilidad a la sequía (SDVI) desarrollado por Karavitis et al. [16]. Cada uno de estos índices tiene un enfoque ligeramente diferente a la vulnerabilidad, y por lo tanto cada uno tiene fortalezas y limitaciones ligeramente distintas para su aplicación en el marco de la CLD.

Por ejemplo: al igual que el marco utilizado por Carrão et al [20], la mayoría de los elementos utilizados en los marcos existentes de DVI y SDVI se basan en los resúmenes de datos

por país, como el Índice de Desarrollo Humano (IDH) del Banco Mundial y el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) para cada país. Las aplicaciones regionales también han incorporado algunos datos cuadrículados para el SDVI, tales como la cubierta de la tierra organizada en cuadrículas, el NDVI y los datos de modelo de superficie de la tierra.

El DVI utiliza 17 factores que se agrupan para abordar el capital natural renovable (por ejemplo: la disponibilidad de agua), la capacidad económica (por ejemplo: el producto interno bruto per cápita), los recursos humanos y cívicos (por ejemplo: la tasa de alfabetización de adultos) y la infraestructura y la tecnología (por ejemplo: el consumo de fertilizantes). El SDVI es ligeramente diferente de los otros marcos, puesto que cuantifica la vulnerabilidad mediante la separación de los riesgos y los impactos: Vulnerabilidad = Identificación de riesgos x Evaluación del impacto, que se desvía ligeramente del marco de Riesgo de sequía = Amenaza x Exposición x Vulnerabilidad utilizado por la CNUCLD y Carrão et al. [20]. Se ha aplicado tanto el DVI como el SDVI en regiones específicas, aunque todavía no a nivel mundial (el DVI se aplicó originalmente a África, el SDVI a Grecia y luego a los EE.UU.).

En las secciones finales de la Parte III, exploramos las recomendaciones referentes a los abordajes potenciales para un nuevo índice global de vulnerabilidad a la sequía que sea fácil de implementar para los países Partes de la CNUCLD y comparable entre las regiones o a nivel global. Con base en los abordajes presentados en el marco de vulnerabilidad a la sequía del CCI [20], Blauhut et al. [32], y el enfoque del DVI, incorporamos elementos similares de vulnerabilidad, pero aquí nos centramos en los elementos de datos espacialmente cuadrículados (o al menos disponibles de forma detallada a nivel subnacional), y para los elementos sobre poblaciones humanas, aquellos que pueden desglosarse por género. Además, se incluye un componente espacialmente explícito para determinar la vulnerabilidad de los ecosistemas con el fin de abordar la vulnerabilidad tanto humana como ecosistémica de manera más integral dentro del marco de monitoreo. Luego ampliamos los detalles técnicos de cada uno de los productos recomendados en la Parte V. Como con cualquier marco de evaluación propuesto sobre la vulnerabilidad a la sequía, nuestro abordaje recomendado debe ser probado y validado de nivel nacional a nivel mundial, para asegurar que los resultados se puedan reproducir con precisión de forma independiente a fin de satisfacer el criterio de propiedad nacional [1].

III.4.2. Recomendaciones para avanzar hacia un marco integral de monitoreo de la vulnerabilidad a la sequía, a partir de datos disgregables por género y espaciales

Recomendamos que el monitoreo de la vulnerabilidad a la sequía utilice un marco que se base en la exposición de las poblaciones y los ecosistemas al riesgo de sequía y que capture los factores de los componentes sociales, infraestructurales y económicos. También se recomienda que este índice atienda de manera más integral los componentes ecosistémicos de los hábitats y el suministro de alimentos de los que dependen las plantas, los animales y los seres humanos, de manera que se capturen las facetas de la gestión de la tierra y la degradación de esta. **En la medida de lo posible y si se dispone de los datos, recomendamos el uso de productos contemporáneos, organizados espacialmente en cuadrículas o a nivel subnacional y disgregables por género, y que los indicadores seleccionados sean genéricos y válidos para cualquier región.** En el Cuadro 6 presentamos detalles específicos acerca de

productos e indicadores potenciales y su efecto sobre el aumento o la disminución de la vulnerabilidad. De estos productos, en este momento solo WorldPop y las Encuestas Demográficas y de Salud (EDS) son disgregables por género.

Nuestro marco de referencia para el índice de vulnerabilidad a la sequía consiste en cuatro componentes: Ecológico, económico, social e infraestructura (**Cuadro 6**). Cada componente se divide en múltiples aspectos que se relacionan con la gestión de la sequía. Para cada indicador que sugerimos, incluimos la forma en que dicha métrica se mediría, y qué efecto tendría sobre la vulnerabilidad general si el valor de la métrica se incrementara. Para cada indicador/métrica, sugerimos al menos una fuente potencial de datos; sin embargo, la orientación para la sustitución de estos productos con otros datos globales o nacionales debería ser posible, y la sustitución por datos nacionales permitiría a los países cumplir con el requisito de propiedad. Estos productos se adaptan mejor al bosquejo de criterios de inclusión/exclusión de la Sección V.1, aunque deben ser evaluados ulteriormente antes de su implementación en Trends.Earth.



Cuadro 6. Hacia un marco integral de monitoreo de la vulnerabilidad a la sequía: productos e indicadores recomendados para el monitoreo de la vulnerabilidad a la sequía global para los seres humanos y los ecosistemas.

Componente	Aspecto relacionado con la gestión de la sequía	Verificables	Unidad de medida	Efecto sobre la vulnerabilidad	Fuentes de datos potenciales	Justificación
Ecológicos	Gestión de la tierra	Fragmentación	Porcentaje de pérdida o fragmentación de ecosistema intactos	Incremento	Paisajes Forestales Intactos	
		Modificación	Porcentaje de cobertura de la tierra convertida a clases más vulnerables	Incremento	ESA CCI (o Copernicus)	Daldegan et al, 2020; Trends.Earth
	Productividad vegetativa	NDVI, EVI2 o MSAVI	Porcentaje de reducción en la productividad vegetativa	Incremento	AVHRR/GIMMS (o MOD13Q1-coll6)	Daldegan et al, 2020; Trends.Earth
	Carbono orgánico del suelo	Cambios en las existencias de carbono	Reducción porcentual en el carbono orgánico del suelo	Incremento	SoilGrids V 2.0	Daldegan et al, 2020; Trends.Earth
	Presión sobre los recursos	Densidad poblacional	habitado por celda de la cuadrícula	Incremento	WorldPop	Nauman et al., 2014
		Global Human Footprint (Huella Humana Global)	0 - 100 (extremadamente rural a extremadamente urbano)	Incremento	Sociedad para la Conservación de la Vida Silvestre y el Centro para la Red Internacional de Información sobre las Ciencias de la Tierra - Universidad de Columbia	Nauman et al., 2014 (población rural por celda de la cuadrícula); Carrao et al., 2016 (% de la población rural)
		Estrés hídrico	Puntaje de estrés hídrico de línea base	Incremento	Estrés hídrico de línea base - IRM	Carrao et al, 2016
	Áreas protegidas	Total de zonas protegidas	km2 por celda de la cuadrícula	Decremento	Base de Datos Mundial sobre Áreas Protegidas	Blahut et al., 2016 incluyeron mediciones de áreas protegidas basadas en Europa
Efectividad del manejo de las áreas protegidas		Puntaje de efectividad del manejo de las áreas protegidas	Decremento	Base de Datos Mundial sobre Áreas Protegidas	Blahut et al., 2016 incluyeron mediciones de áreas protegidas basadas en Europa	
Económicos	Bienestar económico	Datos económicos organizados geográficamente (G-Econ)	PIB per cápita	Decremento	Yale y el Centro para la Red Internacional de Información sobre las Ciencias de la Tierra - Universidad de Columbia	Nauman et al., 2014; Carrao et al, 2016
	Seguridad alimentaria	Inseguridad alimentaria	Prevalencia de la inseguridad alimentaria moderada y severa con base en la Encuesta sobre experiencias de inseguridad alimentaria (FIES) o la Clasificación integrada de las fases de seguridad alimentaria (IPC)	Incremento	Indicadores de seguridad alimentaria de FAOSTAT o el Producto sobre puntos críticos de inseguridad alimentaria de la NASA v1	Tanto Nauman et al., 2014 como Carrao et al, 2016 usaron el PIB agrícola; el FIES es el indicador ODS 2.1.2
	Pobreza	Índice de pobreza multidimensional (o índice de riqueza EDS)	0 - 1 (o quintiles)	Incremento (o Decremento)	Iniciativa sobre Pobreza y Desarrollo Humano de Oxford, Universidad de Oxford (o Encuestas Demográficas y de Salud (EDS))	Carrao et al., 2016 (Índice de recuento de la pobreza en 1,25 USD/día)

Continuación del cuadro 6

Componente	Aspecto relacionado con la gestión de la sequía	Verificables	Unidad de medida	Efecto sobre la vulnerabilidad	Fuentes de datos potenciales	Justificación	
Social	Desarrollo humano (individual)	Tasa de alfabetización de adultos	Porcentaje	Decremento	Encuestas demográficas y de salud (EDS)	Nauman et al., 2014	
		Esperanza de vida al nacer	Años	Decremento	Indicadores de desarrollo del Banco Mundial	Carrao et al, 2016	
		Población entre 15 y 64 años	personas por celda de la cuadrícula	Decremento	WorldPop	Carrao et al, 2016	
	Coordinación institucional	Efectividad gubernamental	varía de -2,5 a 2,5 (débil a fuerte)	Decremento	Indicadores mundiales de gobernanza	Carrao et al, 2016	
		Preparación para la Prevención de Desastres	\$/año/per cápita	Disminución	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE)	Carrao et al, 2016	
	Desplazamiento humano	Refugiado	Porcentaje de la población total	Incremento	Indicadores de desarrollo del Banco Mundial	Nauman et al., 2014; Carrao et al, 2016	
	Salud	Calidad del Aire	microgramos por metro cúbico de materia particulada fina (PM2.5) a nivel del suelo	Incremento	NASA SEDAC Cuadrículas mundiales anuales de PM 2.5	Objetivo 11.6 ODS	
	Infraestructura	Infraestructura hídrica	Agua potable	Porcentaje de la población que utiliza servicios de agua potable gestionados de forma segura	Decremento	WASH o Encuestas demográficas y de salud (EDS)	Indicador 6.1.1 ODS
			Saneamiento	Porcentaje de la población con acceso a saneamiento gestionado de forma segura	Decremento	WASH	Nauman et al, 2014 (Uso total de agua; % de renovables); Carrao et al, 2016 (% renovable retenid)
Higiene			Porcentaje de población con acceso a servicios básicos de lavado de manos	Decremento	WASH		
Potencial de irrigación		Tierras agrícolas de regadío	Porcentaje de la tierra agrícola total	Decremento	FAO Mapa Global Aquastat de Zonas de Regadío	Nauman et al., 2014; Carrao et al, 2016	



III.5. Recomendaciones y conclusiones generales: integración de los índices de amenaza, exposición y vulnerabilidad para monitorear los impactos esperados del OE3

El índice de vulnerabilidad integrado que proponemos en este informe combina los conceptos de **amenaza**, que se define como la cuantificación espacio-temporal de las características climáticas y de sequía por clases de intensidad de la sequía, con **exposición humana**, definida como la densidad de las poblaciones humanas que son afectadas por la sequía, **exposición ecosistémica**, definida como la extensión de los ecosistemas afectados por la sequía, y **vulnerabilidad**, que se define como el grado al que los seres humanos, los sistemas socioeconómicos y los ecosistemas se ven afectados por la exposición a la sequía (Figura 8). Por lo tanto, al emplear este marco la vulnerabilidad se conceptualiza como la superposición entre amenaza y exposición. La exposición de los seres humanos está dada por la densidad de la población, modificada por las clases de género (cuando los datos desglosados por sexo estén fácilmente disponibles) y/o la población urbana vs. la rural, mientras que la exposición de los ecosistemas está dada por la extensión del área bajo una clase dada de sequía por tipo de ecosistema. El índice de vulnerabilidad integra los componentes

sociales, ecológicos, económicos y de infraestructura como se muestra en el **Cuadro 6**. Aunque no se detalla expresamente en el presente informe, se recomienda que los futuros esfuerzos de monitoreo traten de capturar tanto los componentes de sensibilidad como de capacidad de adaptación en el marco del monitoreo de la vulnerabilidad.

Como mínimo, Trends.Earth podría incluir un producto de precipitación global y el índice estandarizado de precipitación (SPI) para el monitoreo de las amenazas de sequía, aunque la inclusión de datos e índices adicionales relacionados con la humedad del suelo y la temperatura podrían incrementar la capacidad de una nación de monitorear eficazmente la amenaza de sequía por tipo (humedad del suelo; sequía agrícola, ecológica o hidrológica). Por otra parte, todavía no hay productos o marcos definidos para el cálculo de la exposición a la sequía en Trends.Earth; por ello, primero debe definirse la integración de productos, índices y métodos para el monitoreo de la sequía de Nivel 1. Luego se puede establecer el marco para el monitoreo de la sequía de Nivel 2, que debe incluir, como mínimo, un producto poblacional y un método para derivar un indicador sustituto para la exposición humana -y, si se desea, un producto de tipo ecosistémico por medio del cual monitorear la exposición de los ecosistemas. Después de determinar el índice de Nivel 2, el marco para el monitoreo de la sequía de Nivel 3 puede establecerse de acuerdo con el marco propuesto y la orientación de la CNUCLD como se da en ICCD/CDP(14), incluidas las pruebas y validaciones a nivel nacional.

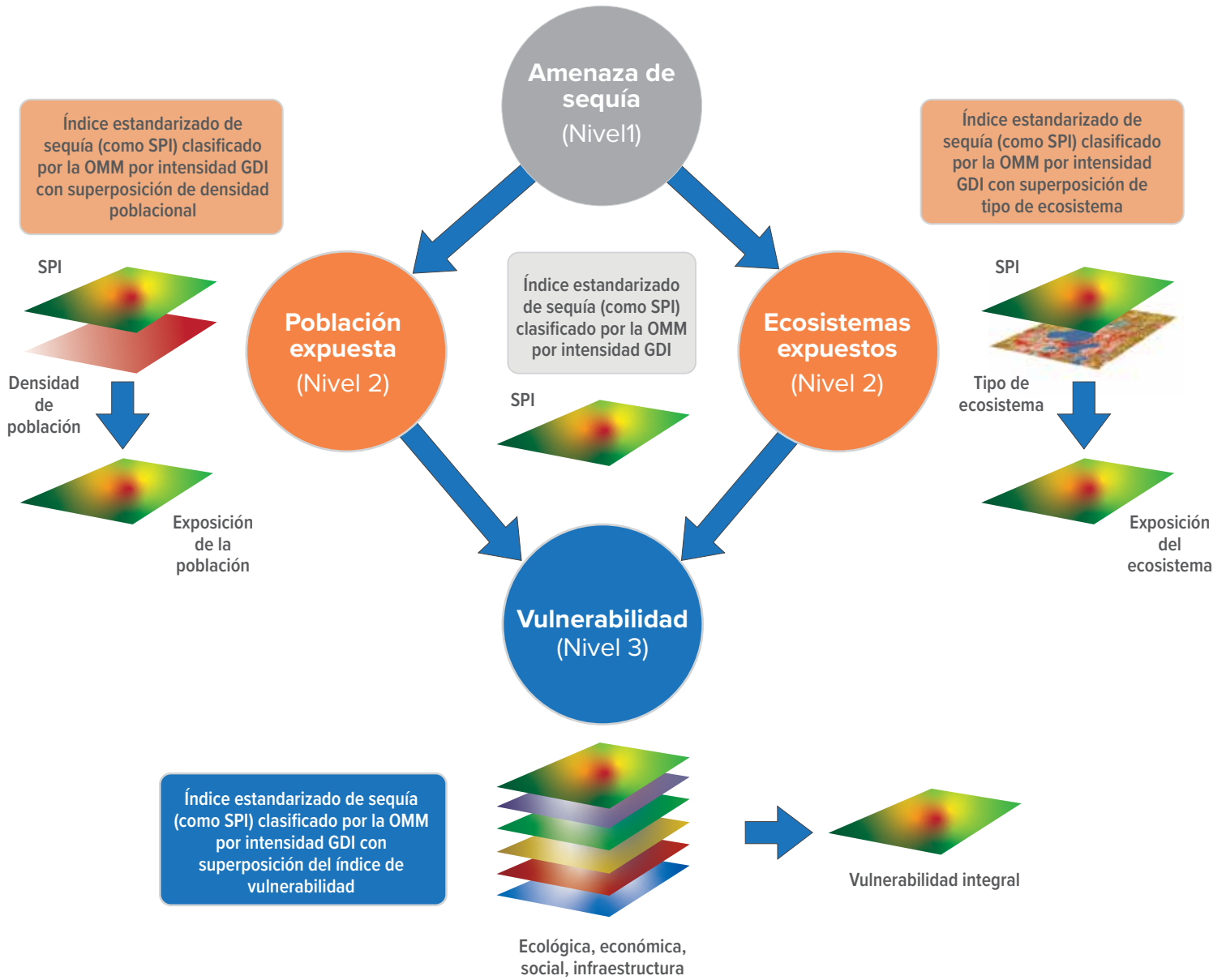


Figura 8. Monitoreo Integrativo de la Sequía Incluida la Vulnerabilidad Integral de los Sistemas Humanos y los Ecosistemas a la Sequía y la Degradación de la Tierra (por ser modificado por los diseñadores).



IV. Índices pertinentes

IV.1. Índices biofísicos para la detección y monitoreo de la amenaza de sequía

IV.1.1. Índice Estandarizado de Precipitación - SPI

El SPI cuantifica la precipitación observada como una desviación normalizada de una función seleccionada de distribución de probabilidades que modela datos brutos. Los datos brutos se pueden ajustar a una distribución gamma o Pearson de tipo III, y luego transformados a una distribución normal. Los datos transformados de precipitación luego se utilizan para calcular el valor del SPI sin dimensiones, definido como la anomalía estandarizada de la precipitación.

Las ecuaciones detalladas para el cálculo de este índice se describen en los siguientes pasos con el empleo de la distribución gamma:

1. La transformación del valor de precipitación en el SPI tiene el propósito de:
 - a. transformar la media del valor de precipitación ajustado a 0;
 - b. ajustar la desviación estándar de la precipitación a 1,0; y
 - c. reajustar obligatoriamente la asimetría de los datos existentes a cero.

Cuando se han alcanzado estos objetivos, el índice estandarizado de precipitación puede ser interpretado como una media de 0 y una desviación estándar de 1,0.

2. La media de la precipitación puede calcularse como:

$$Media = \bar{X} = \frac{\sum X}{N}$$

donde N es el número de observaciones de precipitación.

3. La desviación estándar de la precipitación se calcula como:

$$s = \sqrt{\frac{\sum (X - \bar{X})^2}{N}}$$

4. La asimetría de la precipitación dada se calcula como:

$$Sesgo = \frac{N}{(N-1)(N-2)} \sum \left(\frac{X - \bar{X}}{s} \right)^3$$

5. La precipitación se convierte a valores lognormal y las estadísticas U , y la forma y los parámetros de escala de la distribución gamma se calculan como:

$$\log media = \bar{X}_{ln} = \ln(\bar{X})$$

$$U = \bar{X}_{ln} - \frac{\sum \ln(X)}{N}$$

$$parámetroforma = \beta = \frac{1 + \sqrt{1 + \frac{4U}{3}}}{4U}$$

$$parámetroescala = \alpha = \frac{\bar{X}}{\beta}$$

6. Los parámetros resultantes luego se utilizan para encontrar la probabilidad acumulada de un evento de precipitación observado. La probabilidad acumulada está dada por:

$$G(x) = \frac{\int_0^x x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}} dx}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)}$$

7. Dado que la función gamma es indefinida para $x = 0$ y una distribución de precipitación puede contener ceros, la probabilidad acumulada se vuelve:

$$H(x) = q + (1-q)G(x)$$

donde la probabilidad de q es cero.

8. La probabilidad acumulada $H(x)$ se transforma entonces a la variable aleatoria estándar Z con media de cero y varianza de uno:

$$Z = SPI = - \left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right) \quad 0 < H(x) \leq 0.5$$

$$Z = SPI = + \left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right) \quad 0.5 < H(x) \leq 1.0$$

donde

$$t = \sqrt{\ln \left(\frac{1}{H(x)^2} \right)} \quad 0 < H(x) \leq 0.5$$

$$t = \sqrt{\ln \left(\frac{1}{1 - H(x)^2} \right)} \quad 0.5 < H(x) \leq 1.0$$

$$c_0 = 2.515517$$

$$c_1 = 0.802583$$

$$c_2 = 0.010328$$

$$d_1 = 1.432788$$

$$d_2 = 0.189269$$

$$d_3 = 0.001308$$

Los valores adimensionales de SPI se interpretan como el número de desviaciones estándar por el que la anomalía observada se desvía de la media a largo plazo, y por lo general están etiquetados categóricamente con base en condiciones (es decir, extremadamente húmedo, extremadamente seco, normal) como se muestra en el **Cuadro 7**. La sequía se produce cuando el SPI es negativo consecutivamente, y su valor alcanza una intensidad de -1 o menos y termina cuando el SPI se hace positivo.

Cuadro 7. Categorías de sequía con base en el Índice estandarizado de precipitación.

Descripción	Categoría de precipitación
2,0 o más	Extremadamente húmedo
1,5 a 1,99	Severamente húmedo
1,0 a 1,49	Moderadamente húmedo
-0,99 a 0,99	Cerca de lo normal
-1,0 a -1,49	Moderadamente seco
-1,5 a -1,99	Severamente seco
-2 o menos	Extremadamente seco

El beneficio clave del SPI es que es fácil de calcular y entender, ya que la escasez de precipitación es la definición más comprensible de la sequía. Utiliza solo los datos de precipitación como insumo, y se recomienda tener de 30 a 50 años de datos [50]. Es comparable a través de diferentes escalas temporales, que típicamente se calculan durante periodos de uno a 36 meses; esto también permite evaluar simultáneamente el SPI a través de una multitud de escalas temporales para hacer abordar la sequía tanto a corto plazo como a largo plazo. Además, es más comparable a través de diferentes regiones que el ISSP [51]. Sin embargo, debido a que el SPI no considera la evapotranspiración, tiene menor capacidad de captar los efectos del aumento de la temperatura causado por el cambio climático. Otras limitaciones incluyen su incapacidad de tener en cuenta la intensidad de la precipitación (y, por lo tanto, su impacto en términos de la escorrentía, el caudal, y la disponibilidad de agua) y su sensibilidad a la calidad y cantidad de los datos ingresados [51]. Debido SPI requiere un largo período de datos como insumo, algunos nuevos productos de precipitación por sensores remotos (como CMORPH, GSMaP, e IMERG) podrían no cubrir un periodo de tiempo adecuado para realizar cálculos confiables del SPI.

Existen distintas variaciones del SPI que se han desarrollado para abordar las posibles deficiencias en la ecuación estándar. El SPI no estacionario (nSPI) ajusta los datos de precipitación a una distribución Gamma no estacionaria. Russo et al [52] mostraron que el nSPI es más robusto que el SPI en la predicción de los cambios de precipitación en Europa. Li et al [53] reportan que el nSPI con índices climáticos como covariables supera al SPI tradicional en la cuenca del río Luanhe, en China. El SPI-GEV ajusta los datos de precipitación a una distribución de valor extremo generalizado (GEV) en lugar de una distribución Gamma [52]. Farahmand y AghaKouchak [54] sugieren que

un enfoque no paramétrico para calcular SPI es superior puesto que los enfoques paramétricos pueden llevar a resultados inconsistentes en escalas de continentales a mundiales.

El SPI está avalado por la OMM y se aplica ampliamente en los estudios de sequía. Un programa disponible libremente para calcular el SPI puede descargarse a través del Centro Nacional de Mitigación de la Sequía de la Universidad de Nebraska¹². Además, los cálculos se pueden realizar en Microsoft Excel utilizando funciones disponibles, o con código libre en el paquete estadístico R.

IV.1.2. Índice estandarizado de precipitación y evapotranspiración - SPEI

Es un índice más reciente desarrollado por Vicente-Serrano et al. [55] en el Instituto Pirenaico de Ecología en Zaragoza, España. El índice estandarizado de precipitación y evapotranspiración (SPEI) utiliza el SPI como base pero incluye un cálculo de la evapotranspiración a partir de los datos de temperatura. La escala de intensidad es tanto positiva como negativa, lo que le permite representar tanto eventos húmedos como secos. Debido a que incluye los datos de temperatura, puede compararse con el Índice de Severidad de la Sequía de Palmer (scPDSI) con autocalibración. El SPEI requiere series completas de datos de precipitación mensual y se puede aplicar a cualquier caso en que se aplicaría SPI. El cálculo de la evapotranspiración potencial (ETP) utiliza la ecuación de Thornewaithe ya que es el método más sencillo para calcular la ETP [56], y tiene la ventaja de que solo requiere datos del promedio de temperatura mensual.

$$PET = 16K \left(\frac{10T}{I} \right)^m$$

dónde T es la temperatura promedio mensual en °C, I es un índice de calor que se calcula como la suma de los valores de 12 índices mensuales i , donde i se deriva por la ecuación

$$i = \left(\frac{T}{5} \right)^{1.514}$$

y m es un coeficiente que depende de I : $m = 6,75 \times 10^{-7} I^3 - 7,71 \times 10^{-5} I^2 + 1,79 \times 10^{-2} + 0,492$; y K es un coeficiente de

corrección calculado en función de la latitud y el mes,

$$K = \left(\frac{N}{12} \right) \left(\frac{NDM}{30} \right)$$

donde NDM representa el número de días del mes y N es el número máximo de horas de sol. Con un valor para ETP, la diferencia entre la precipitación P y la ETP para el mes i se calcula empleando

$$D_i = P_i - PET_i$$

para proporcionar una medición simple del excedente o déficit hídrico para el mes que se analiza. El SPEI se calcula como

$$SPEI = W - \frac{C_0 + C_1 W + C_2 W^2}{1 + d_1 W + d_2 W^2 + d_3 W^3}$$

donde

$$W = \sqrt{-2 \ln(P)} \text{ for } P \leq 0,5$$

y P es la probabilidad de exceder un determinado valor D , $P = 1 - F(x)$, la distribución de probabilidad de la serie D de acuerdo con la distribución log-logística. Si $P > 0,5$, entonces P se sustituye por $1 - P$ y el signo del SPEI resultante se invierte. Las constantes son $C_0 = 2,515517$, $C_1 = 0,802853$, $C_2 = 0,010328$, $d_1 = 1,432788$, $d_2 = 0,189269$ y $d_3 = 0,001308$.

Los cálculos detallados y completos y la descripción metodológica se describen en Vicente-Serrano et al. [55], aunque el código en el paquete estadístico R para realizar los cálculos está disponible al público y se pueden obtener en línea¹³, lo que lo convierte en una opción bastante amigable. Además, el código permite que el método de cálculo de la ETP se pueda realizar ya sea con la ecuación Thornwaite, la Penman-Monteith o la Hargreaves.

El SPEI es un índice fuerte, con muchas ventajas. Tiene muchas de las mismas ventajas del SPI, incluida la capacidad de analizar una variedad de regímenes climáticos, y es comparable a través del espacio y el tiempo ya que es estandarizado. Debido a la inclusión de los datos de temperatura, es más robusto que los índices de que solo utilizan la precipitación, y se pueden utilizar para evaluar los efectos del cambio climático bajo

12 <http://drought.unl.edu/droughtmonitoring/SPI/SPIProgram.aspx>.

13 <https://rdrr.io/cran/SPEI/man/spei.html>

múltiples escenarios futuros [34]. También es directamente comparable con el SPI, ya que utiliza la misma clasificación de categorías de sequía (**Cuadro 7**). El SPEI se ha implementado en múltiples juegos de herramientas de monitoreo global de la sequía, incluyendo el Monitor Global de la Sequía de SPEI, que utiliza la ecuación de Thornwaithe para calcular la ETP, y la Base de Datos Global de SPEI (o SPEIbase), que utiliza el método más robusto de Penman-Montieth para calcular la ETP¹⁴. Una publicación reciente indicó que «el SPEI debe ser la primera opción en el monitoreo de la sequía relacionada con el calentamiento global» [57].

Al igual que con otros índices calculados mensualmente, su capacidad para detectar condiciones de rápida evolución es limitada. También, al igual que otros índices que requieren series completas de datos, su uso puede ser limitado si no hay datos disponibles.

IV.1.3. Índice estandarizado de humedad del suelo (SSI)

El Índice estandarizado de humedad del suelo (SSI) se calcula de manera casi idéntica al SPI. Los productos de humedad del suelo empleados se suman y se promedian, respectivamente, de manera mensual, y luego se promedia (la humedad del suelo) durante un número determinado de meses (por ejemplo: SSI-1, SSI-3, etc.), lo que se conoce como períodos de acumulación o escalas de tiempo. Una función de distribución estadística se ajusta a los valores de precipitación/humedad del suelo para los diferentes meses del año. El valor del percentil de esta distribución de probabilidad luego se transforma en el valor correspondiente de la función de distribución de probabilidad normal acumulativa estándar para obtener el índice estandarizado de sequía [24,26,58].

Usando una distribución Gamma para ajustar los datos de humedad del suelo a la distribución normal estándar hace que este índice de suelo (edáfico) sea altamente comparable al SPI y ha sido implementado en múltiples estudios [58,59]. Este enfoque también permite que las categorías de sequía del SSI reflejen las del SPI (**Cuadro 7**). El SSI requiere menos insumos que casi cualquier otro índice de sequía que incorpora la humedad del suelo, ya que no requiere ningún dato adicional. El SSI se ha implementado en el monitoreo global de la sequía junto con el SPI, es decir GIDMaPS [40].

Cuando el cálculo del SSI (o cualquier índice de humedad del suelo, para el caso), el usuario debe tener cuidado de usar productos que hayan sido verificados, ya que los datos de humedad del suelo a veces pueden ser engañosos. Los usuarios deben prestar atención a la precisión, robustez y confiabilidad de

los productos de humedad del suelo.

IV.1.4. Recomendaciones sobre los índices de sequía

El SPI es el candidato más probable para la evaluación de la sequía a escala globales y locales, ya que se puede calcular en diferentes escalas de tiempo, se encuentra respaldado por la OMM, y múltiples entidades nacionales de control de sequía lo utilizan. Es el más simple de implementar y fácil de entender para los usuarios no técnicos. En una evaluación global del desempeño de los diferentes índices de sequía para el monitoreo del impacto de la sequía sobre distintas variables de respuesta hidrológica, agrícola y ecológica, incluidos caudal, humedad del suelo, el crecimiento del bosque, y el rendimiento del cultivo, Vicente-Serrano et al. [60] encontraron una capacidad superior de los índices de sequía SPI y SPEI. Esto es en parte porque pueden calcularse en escalas temporales diferentes a las de los índices de Palmer para capturar los efectos de la sequía en las variables antes mencionadas. **Por esta y otras razones discutidas anteriormente, se recomienda implementar el SPI como el principal índice para el monitoreo global de la sequía en Trends.Earth.** Además, sugerimos incorporar el SPEI y SSI para complementar la capacidad de los países de evaluar y monitorear la sequía, dada su comparabilidad directa con el SPI y el potencial de detectar características del cambio climático y/o tipos de sequía distintos a la sequía meteorológica.

IV.2 Revisión de los índices integrados de vulnerabilidad a la sequía existentes

IV.2.1. Marco de vulnerabilidad a la sequía del Centro Común de Investigación de la Comisión Europea.

El marco del CCI para el monitoreo del riesgo de sequía como se describe en Carrão et al. [20] adopta un enfoque para evaluar vulnerabilidad a la sequía que fue propuesto inicialmente por la Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNDRR - anteriormente la Estrategia Internacional de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres o UNISDR) que refleja el estado de los factores tanto individuales como colectivos (sociales, económicos y de infraestructura) de una región [61]. Esta metodología también

14 <https://spei.csic.es/>

se ha implementado operativamente dentro del Observatorio Global de la Sequía (GDO) del CCI para documentar y mapear el riesgo global del impacto de la sequía en la agricultura. Los autores afirman que los factores que se han incluido no representan una descripción completa de la vulnerabilidad en relación con un elemento expuesto específico, pero pueden ser vistos como una base para la construcción de un plan regional para reducir la vulnerabilidad y facilitar la adaptación.

La metodología utilizada en Carrão et al. [20] sigue el concepto de que los individuos y las poblaciones requieren una serie de factores «(semi) independientes» caracterizados por un conjunto de indicadores sustitutos para lograr una resiliencia positiva ante los impactos. La metodología utiliza un modelo compuesto de dos pasos que se deriva de la agregación de 15 indicadores sustitutos (**Cuadro 8**) que representan la vulnerabilidad social, económica y de infraestructura en cada ubicación geográfica (una metodología similar a la del DVI, que se discute posteriormente) y se derivan de datos tanto a nivel nacional como datos cuadrículados de muy alta resolución espacial. Este proceso primero involucra la combinación de los indicadores presentados en el Cuadro 8 para cada factor por medio de un modelo de Análisis Envolvente de Datos (DEA), una técnica de programación lineal determinista y no paramétrica que

se puede utilizar para cuantificar la exposición relativa a la sequía de una región desde un conjunto multidimensional de indicadores. En segundo lugar, se agregan aritméticamente los factores particulares resultantes del modelo DEA en un modelo compuesto de vulnerabilidad a la sequía tal que:

$$dv_i = \frac{Soc_i + Econ_i + Infr_i}{3}$$

donde Soc_i , $Econ_i$, e $Infr_i$ son los factores de vulnerabilidad social, económica y de infraestructura para la región i .

Además, los autores hacen una evaluación comparativa entre el modelo de ponderación y agregación utilizado en su metodología y los empleados en otros indicadores compuestos de vulnerabilidad a la sequía tales como DVI, HDI y el Índice de pobreza multidimensional (IPM), y postulan que su modelo es más robusto y capaz de representar la jerarquización de vulnerabilidades regionales desconocidas.



Cuadro 8. Indicadores sustitutos para vulnerabilidad a la sequía utilizados en Carrão et al. 2016. Con la excepción de gROADS y el de Tierras Agrícolas de Regadío de la FAO, que son ambos datos cuadrículados, todos los datos están disponibles solo a nivel nacional.

Indicador	Fuente	Enlace
ECONÓMICOS		
Consumo de energía per cápita (millones de Btu por persona)	Administración de Información Energética de Estados Unidos (EIA)	http://www.eia.gov/
Agricultura (% PIB)	Banco Mundial	http://data.worldbank.org/products/wdi
PIB per cápita (actual USD)	Banco Mundial	http://data.worldbank.org/products/wdi
Índice de recuento de la pobreza a 1,25 USD por día (PPA) (% de la población total)	Banco Mundial	http://data.worldbank.org/products/wdi
SOCIAL		
Población rural (% de la población total)	Banco Mundial	http://data.worldbank.org/products/wdi
Tasa de alfabetización (% de las personas de 15 años de edad y más)	Banco Mundial	http://data.worldbank.org/products/wdi
Fuentes mejoradas de agua (% de la población rural con acceso)	Banco Mundial	http://data.worldbank.org/products/wdi
Esperanza de vida al nacer (años)	Banco Mundial	http://data.worldbank.org/products/wdi
Población de 15-64 años de edad (% de la población total)	Banco Mundial	http://data.worldbank.org/products/wdi
Población de refugiados por país o territorio de asilo (% de la población total)	Banco Mundial	http://data.worldbank.org/products/wdi
Efectividad gubernamental	Indicadores mundiales de gobernanza (WGI)	http://info.worldbank.org/governance/wgi/index.aspx#home
Prevención y preparación ante desastres (USD/año/habitante)	Organización de Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE)	http://stats.oecd.org/
INFRAESTRUCTURA		
Tierras agrícolas y de regadío (% del total de tierra agrícola)	Organización para la Alimentación y la Agricultura (FAO)	http://www.fao.org/nr/water/aquastat/main/index.stm
% de agua renovable retenido	Acueducto	http://www.wri.org/our-work/project/aqueduct
Densidad de caminos (km de caminos por cada 100 kilómetros cuadrados de superficie)	gROADSv1	http://sedac.ciesin.columbia.edu/data/set/groads-global-roads-open-access-v1

IV.2.2. Índice de vulnerabilidad a la sequía - DVI

El Índice de vulnerabilidad a la sequía (DVI) fue desarrollado por Naumann et al. [49] para evaluar la vulnerabilidad a la sequía en África por medio de los factores relacionados con el capital natural renovable, la capacidad económica, los recursos humanos y cívicos, la infraestructura y la tecnología. La selección de las variables y su ponderación refleja el supuesto de que una sociedad con capacidad y coordinación institucional, así como con mecanismos de participación pública, es menos vulnerable a la sequía. La definición de los factores se basa en la relevancia de cada indicador para el desarrollo de políticas y de toda la estructura estadística del producto (**Cuadro 9**). Para cada factor, se necesitaba un esquema de normalización antes de la agregación de datos, ya que la mayoría de los

indicadores individuales tienen diferentes unidades de medida. Cada componente se evalúa como una media geométrica de un conjunto de indicadores inferidos a partir de variables que se pueden obtener en bases de datos públicas, y por lo tanto, contrastadas por las partes interesadas.

El DVI se calcula de manera similar al IDH, donde cada factor puede ser visto como una dimensión. La vulnerabilidad general a la sequía se calcula como una agregación ponderada de los factores como:

$$DVI_i = \sum_{(k=1)}^4 W_k C_{i,k}$$

Donde W_k son las ponderaciones asignadas al componente k (con $\sum W_k = 1$) y $C_{i,k}$ son los componentes para cada país. El DVI da la vulnerabilidad relativa de un país con respecto a todos los países considerados en el cálculo. Los puntajes del DVI van en una escala de 0 a 1, donde 0 representa la vulnerabilidad más baja y 1 se asocia con la vulnerabilidad más alta.

Cuadro 9. Factores de vulnerabilidad utilizados en Índice de vulnerabilidad a la sequía (DVI).

Componente	Aspecto relevante para la gestión de la sequía y el tipo de influencia	Indicador	Fuente de datos
1. Natural renovable	Gestión del agua, influencia positiva	Uso agrícola del agua (% del total) Extracciones de agua para riego (millones de m ³ año ⁻¹ por celda de la cuadrícula)	Aquastat Uso agrícola del agua (% del total) Extracciones de agua para riego (millones de m ³ año ⁻¹ por celda de la cuadrícula). https://wwdrii.sr.unh.edu/index.html
	Gestión del agua	Uso total del agua (% de renovable)	FAO, Aquastat, CRU
	Gestión del agua	Área de regadío (% de tierras de cultivo) Área equipada para riego (km ² por celda de la cuadrícula) Área agrícola (km ²) Población rural, año 2000 (personas por celda de la cuadrícula) y población total, año 2000 (personas por celda de la cuadrícula)	Aquastat Informe mundial sobre el desarrollo de los recursos hídricos II del Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos. https://wwdrii.sr.unh.edu/index.htm
	Disponibilidad del agua	Precipitación promedio 61-90 (mm año ⁻¹)	Aquastat CCPG (Centro Mundial de Climatología de las Precipitaciones, DWD)
	Presión sobre los recursos	Densidad poblacional (hab km ²)	Aquastat Informe mundial sobre el desarrollo de los recursos hídricos II del Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos.
2. Capacidad económica	Bienestar económico	PIB per cápita USD	Índice de Desarrollo Humano del PNUD World Statistics Pocketbook (Libro de Bolsillo de las Estadísticas Mundiales) (División de Estadística de las Naciones Unidas)
	Seguridad alimentaria	Valor añadido agrario/%PIB	Aquastat
	Bienestar económico	Uso comercial de energía (kg equivalentes de petróleo per cápita)	Banco Mundial World Statistics Pocketbook (Libro de Bolsillo de las Estadísticas Mundiales) (División de Estadística de las Naciones Unidas)
	Capacidad colectiva	Población que vive con PPA por debajo de 1,25 USD por día	Índice de Desarrollo Humano del PNUD

Continuación del cuadro 9

3. Recursos humanos y cívicos	Desarrollo humano (nivel individual)	Tasa de alfabetización de adultos (%)	Índice de Desarrollo Humano del PNUD
	Desarrollo humano (nivel individual)	Esperanza de vida al nacer (años)	Índice de Desarrollo Humano del PNUD
	Capacidad colectiva, coordinación institucional	Efectividad gubernamental (el desempeño de la gobernanza oscila entre aproximadamente -2,5 (débil) a 2,5 (fuerte))	Banco Mundial
	Capacidad colectiva, coordinación institucional	Capacidad institucional (0 a 1)	DEWFORA
	Capacidad colectiva	Población sin acceso a fuentes de agua mejoradas (%)	Banco Mundial
	Desplazamiento humano	Refugiados (% de la población total)	ACNUR
4. Infraestructura y tecnología	Desarrollo	Consumo de fertilizantes (kg por hectárea de tierra de labranza)	Banco Mundial, Consumo total de fertilizantes en toneladas según FAOSTAT, Tierra de labranza en Kha de Aquastat
	Potencial de gestión del agua	Infraestructura hídrica (almacenamiento como proporción del total de RHR)	Aquastat

IV.2.3. Índice estandarizado de vulnerabilidad a la sequía - SDVI

El Índice estandarizado de vulnerabilidad a la sequía (SDVI) fue desarrollado por Karavitis et al. [16] en un esfuerzo por vincular las características de la sequía a su impacto con la incorporación de información sobre suministro de agua, datos sobre demanda, el estado de la infraestructura hídrica pertinente y los parámetros climáticos. Dentro de este marco, la vulnerabilidad se cuantifica como Vulnerabilidad = Identificación del riesgo x Evaluación del impacto e incluye las mediciones de peligro y la exposición como variables, lo que difiere de Riesgo de sequía = Amenaza x Exposición x Vulnerabilidad utilizado por la CNULD y Carrão et al. [20] donde la amenaza y la exposición se consideran como elementos separados aunque no independientes. Sin embargo, en ambos casos, la vulnerabilidad se produce solo cuando está presente la amenaza de sequía. El SDVI evalúa el impacto de los diferentes tipos de sequía.

Cada factor se desglosa en niveles de vulnerabilidad que van de 0 a 3, donde 0 es menos vulnerable y 3 es extremadamente vulnerable. Estos factores de vulnerabilidad a escala se utilizan para calcular un valor de vulnerabilidad final por área como el valor promedio a escala de los factores como:

$$SDVI = \sum_{i=1}^6 \frac{\text{Factors' Scale Value}}{6}$$

con todos los factores ponderados por igual. El método de igual ponderación ha demostrado ser más eficaz que los métodos de ponderación más complejos [62]. Los valores finales del SDVI se clasifican en seis intervalos de clase iguales de 0,0 a 3,0; el rango más bajo representa las zonas no vulnerables y el rango más alto representan las áreas excepcionalmente vulnerables.

El SDVI fue originalmente desarrollado con datos de Grecia; también se ha aplicado en Estados Unidos con modificaciones que incorporaron datos cuadrículados de la cobertura de la tierra, el NDVI, y los datos del modelo de la superficie terrestre, entre otros datos espaciales no cuadrículados [63].

IV.3. Recomendaciones sobre los índices de vulnerabilidad a la sequía

Recomendamos que la creación del índice de vulnerabilidad de Nivel 3 debería basarse en los componentes de exposición ecosistémica y humana e incorporar elementos de capacidad y sensibilidad. Nos encontramos con que ninguno de los índices presentados en esta sección es una solución de talla única; por otra parte, existe una brecha entre cómo abordar la vulnerabilidad a la sequía, donde se considera principalmente en términos de los seres humanos o los ecosistemas. Cuando los índices los incorporan ambos es en una capacidad limitada. Por lo tanto, se necesita más trabajo para desarrollar un índice de vulnerabilidad verdaderamente integral.

V. Productos relevantes

V.1. Criterios de inclusión/exclusión para los productos

Utilizando el documento ICCD/CDP(14).CST/7 como referencia así como el conocimiento de expertos, hemos creado una serie de criterios de inclusión y exclusión para los productos incluidos en nuestro informe, los que se describen en más detalle en las siguientes secciones (**Cuadro 10**).

Cuadro 10. Criterios de inclusión y exclusión para los productos para reportar sobre el monitoreo de la sequía.

Criterios y Descripción
Fidelidad al OE3: en ICCD/CDP(14)/CST/7 denominado Sensibilidad del indicador con el OE.
Comparabilidad de candidatos a métricas/indicadores con consideración para el desarrollo y aplicación de las normas internacionales en los datos subyacentes, las metodologías y la orientación (modificados a partir de los criterios en el documento ICCD/CDP(14)/CST/7). Un ejemplo sería los datos de MERRA-2, que tienen una resolución espacial rectangular, por lo que son menos directamente comparables.
Validez y confiabilidad de los datos: Los productos se han evaluado en términos de precisión/incertidumbre y su capacidad de detectar las sequías y/o cambios en el tiempo/clima. Además, la preferencia es excluir los productos sobre precipitación a partir únicamente de mediciones por satélite o de pluviómetros, ya que pueden ser menos precisos que los productos que combinan mediciones por satélite y pluviómetros. Todavía existe una falta de productos que combinan mediciones por satélite y pluviómetros (tales como CHIRTS, que está disponible solamente hasta 2016 y no se actualiza regularmente), así que la preferencia es incluir solo productos con base en pluviómetros. Los productos de reanálisis proporcionan información invaluable sobre las escalas temporales que van desde la variabilidad diaria hasta la interanual. Sin embargo, a menudo no tienen la capacidad de caracterizar tendencias a largo plazo. En Golian et al [41], los productos de reanálisis de precipitación fueron los menos consistentes en capturar el número de eventos de sequía. En Funk et al. [64], el producto de reanálisis de temperatura MERRA-2 se excluyó del análisis debido a varios casos observados en los que había grandes cambios inesperados en los valores máximos de temperatura estimados por el sistema MERRA-2.
Preparación/Adaptabilidad: Los productos no requieren un permiso especial para su acceso y se pueden descargar libremente desde Internet. (Preparación según ICCD/CDP(14)/CST/7)
Cobertura global: Los productos deben tener cobertura mundial o casi mundial, incluyendo la mayoría de las áreas terrestres habitadas.
Resolución espacial: La resolución espacial debe ser la más fina disponible. Golian et al [41] reportan que los índices de sequía son sensibles a la resolución espacial y que el pronóstico de la sequía severa o excepcional se pueden reducir de manera significativa al utilizar productos de menor resolución.
Rango temporal: Se remonta a 2000, al menos para la humedad del suelo, y tiene un récord mínimo de 30 años para la precipitación/temperatura como se recomienda para algunos índices comunes sobre sequía (por ejemplo: SPI) y la orientación de la OMM para los estudios climáticos [50]. (Podría considerarse un componente de Preparación/Adaptabilidad según ICCD/CDP(14)/CST/7). El uso de registros de precipitación más largos también es recomendado por McKee et al. [24] y Wu et al [65] para el cálculo del SPI. El periodo de registro puede afectar significativamente la predicción de las características de la sequía, incluyendo las cuadrículas porcentuales bajo la sequía severa o excepcional; incluso los registros de casi 40 años pueden subestimar la extensión de la sequía en las latitudes medias y bajas [41]. Los productos más recientes basados en satélites como CMORPH o IMERG no tienen un período de registro suficiente para satisfacer los requisitos de la OMM para su uso en los estudios climáticos.
Resolución temporal: El producto debe estar disponible en una resolución temporal que facilite la evaluación de los cambios, tanto a corto plazo como a largo plazo, del clima y el tiempo. Un producto que está disponible en múltiples resoluciones temporales, incluidas la diaria, mensual y anual, es ideal, pero incluso si las resoluciones temporales deseadas están disponibles, un producto diario que se puede agregar fácilmente a un producto mensual o anual es preferible. No se requieren los productos con frecuencia menor a la diaria (subdiaria). (La mayoría de los índices se calculan en intervalos mensuales o multi mensuales, por ejemplo: SPI-1, SPI-3, SPI-6, etc.). (Podría considerarse un componente de Preparación/Adaptabilidad según ICCD/CDP(14)/CST/7)

Continuación del cuadro 9

Criterios y Descripción
Tipo de datos: Dado que los productos cuadrículados con base en pluviómetros generalmente poseen una incertidumbre asociada mayor, en parte debido a las inconsistencias en la densidad del pluviómetro, un producto combinado de satélites y pluviómetros es más deseable para la precipitación, temperatura y humedad del suelo cuando están disponibles. Para los datos socioeconómicos, el orden de preferencia del más deseable al menos deseable es cuadrículados, subnacional y nacional.
Factibilidad de la integración Trends.Earth (facilidad de uso): Los productos que son más fáciles de usar son preferibles. Por ejemplo: los productos de precipitación cuadrículados se pueden derivar de pluviómetros, satélites, satélite con corrección de pluviómetros o productos de reanálisis. Los productos de reanálisis son menos directos y más difíciles de usar, por lo que no son los preferidos. (Componente de Preparación según ICCD/CDP(14)/CST/7)
Frecuencia de actualización: El producto debe ser actualizado de forma activa sobre una base regular, es decir se excluyen los productos que ya no están en funcionamiento o que no tienen un plazo de fácil identificación para las versiones posteriores. Tanto para los productos biofísicos como socioeconómicos, los preferidos son los que se actualizan al menos cada año. (Podría considerarse un componente de Preparación/Adaptabilidad según ICCD/CDP(14)/CST/7)
Desglose por género: Se dará preferencia a los datos e indicadores socioeconómicos con desglose por género. (Componente de Preparación/Adaptabilidad según ICCD/CDP(14)/CST/7)
Capacidad de crear apropiación a nivel nacional: donde Trends.Earth le brinda orientación a los países para que sustituyan sus propios datos, lo que les permite validar, aceptar o rechazar los datos recomendados.

V.2. Productos e índices biofísicos para el monitoreo de la sequía, la amenaza de sequía y los extremos climáticos: Precipitación, temperatura, y humedad del suelo

V.2.1. Precipitación

Esta sección solo incluye los productos provenientes de satélites y pluviómetros que tienen al menos 30 años de registro, una cobertura casi global, que actualmente se encuentran en funcionamiento y se actualizan periódicamente.

V.2.1.1. CHIRPS (actualmente utilizado en Trends.Earth)

Los datos de precipitaciones de estaciones con infrarrojos del Grupo de Riesgos Climáticos (CHIRPS) es un producto casi global sobre precipitaciones con una cobertura temporal que abarca más de 35 años (**Cuadro 3**). CHIRPS incorpora una climatología interna llamada CHPclim, múltiples fuentes de satélites geoestacionarios infrarrojos térmicos (TIR) de alta resolución espacial, y datos de estaciones in situ a través de un

algoritmo modificado de ponderación inversa a la distancia [66]. CHIRPS fue diseñado explícitamente para el monitoreo de la sequía agrícola y el cambio ambiental de la tierra en regiones con topografía compleja, cambios en las redes de observación, y sistemas de precipitación convectiva profunda que se correlacionan bien con las estimaciones de persistencia de nubes frías (CCD).

Debido a que se requieren intervalos a nivel submensual para el monitoreo de la sequía agrícola, el intervalo principal se calcula en pentadas (periodos de 5 días) y posteriormente se vuelve a escalar a otros intervalos tales como diario y mensual. Los productos finales son emitidos poco después del 20 del mes siguiente al que se calculan, lo que resultan en una baja latencia para la emisión de los productos operacionales. El producto global se calcula con una resolución espacial de 0,05 grados, la más fina de cualquier producto disponible. Los datos de CHIRPS se pueden descargar y usar sin restricciones.

Los resultados de la validación indican un buen desempeño para el monitoreo de la sequía en lugares como Oriente Medio, África del Norte, América del Norte, Europa y Asia. Sin embargo, existen grandes sesgos en algunos países como Colombia y Perú, lo que podrían inhibir el monitoreo efectivo a distancia de la sequía y los cambios ambientales [66].

Un estudio realizado por Tote et al. [67] usó CHIRPS para estimar valores decadales (10 días) de precipitación en Mozambique, concluyendo que su dependencia de los datos TRMM (Misión de Medición de Lluvias Tropicales) de 0,25 grados puede contribuir a su tendencia a sobreestimar la frecuencia de eventos de precipitación porque los valores se promediaron a través de áreas más extensas. La sobreestimación de los eventos de precipitación hizo de este producto el menos útil para el monitoreo de la sequía de todos los comparados en el estudio; sin embargo, superó a otros productos en términos de estimación de la cantidad de lluvia, tanto durante la temporada de ciclones como durante todo el ciclo de las estaciones, lo que indica cierta utilidad en el monitoreo de los efectos de la sequía sobre la producción agrícola y el monitoreo de inundaciones.

En otro estudio, Bayissa et al. [68] Encontraron una buena correlación entre CHIRPS y los datos mensuales de las estaciones en Etiopía, y tomó nota de su utilidad como una fuente alternativa de información sobre precipitación en el desarrollo de herramientas de monitoreo de la sequía con base en cuadrículas para ayudar en el desarrollo de sistemas de alerta temprana. Además, CHIRPS encontró que tenía una buena concordancia para las predicciones de umbrales de sequía de moderados a severos con base en datos de pluviómetros (SPI de -1 y -1,5; **Cuadro 7**) y tuvo un buen desempeño en términos de predecir la distribución espacial del número de eventos de sequía [41]. Finalmente, en un estudio con datos limitados de pluviómetros en una topografía más accidentada de Etiopía, CHIRPS demostró tener un desempeño superior al de todos los demás productos, incluidos CMAP, GPCP, y PERSIANN en todas las escalas temporales y espaciales cuando se evaluó contra observaciones en tierra [69].

Por último, CHIRPS incluso se ha utilizado para estimar la sequía hidrológica, y capturó con precisión el inicio, fin y duración de este episodio de sequía; sin embargo, se encontraron varias desviaciones en la estimación de severidad e intensidad del episodio de sequía [30]. En este estudio se encontró que CHIRPS también supera a PERSIANN-CDR.

CHIRPS está bien adaptado al monitoreo de la sequía dadas sus altas resoluciones espaciales y temporales y su eficacia se apoya sustancialmente en la literatura científica. Actualmente, CHIRPS se utiliza en múltiples iniciativas operativas de monitoreo de la sequía y el clima, incluidas FEWS NET, ClimateSERV y Trends.Earth.

V.2.1.2. CMAP estándar

Los valores del Análisis combinado de precipitación (CMAP) del Centro de Predicciones Climáticas (CPC) se derivan de un análisis de pluviómetros con observaciones de microondas

e infrarrojas desde satélites en órbita polar y geoestacionarios [70]. En el producto estándar CMAP, la superposición de las estimaciones basadas en satélites se pondera en función de su ajuste con el análisis basado en pluviómetros, que se supone que tienen los valores más exactos. El CMAP se proporciona a una resolución espacial de 2,5 grados en incrementos mensuales y pentadales con una cobertura temporal ligeramente mayor que CHIRPS. Los productos CMAP se actualizan de forma irregular. CMAP fue desarrollado originalmente para apoyar el análisis de la variabilidad anual e interanual en la precipitación a gran escala.

Un estudio que evaluó la sequía meteorológica sobre Arabia Saudita encontró una buena concordancia entre los datos de observación y CMAP, tanto para las estaciones húmedas como las secas, pero señaló que su baja resolución limitó su capacidad para detectar matices en los patrones espaciales de la precipitación que se resuelven mejor mediante datos con resolución más alta de la Unidad de Investigación Climática (CRU) [71]. En el estudio de Gebremichael et al. [69], se encontró que CMAP tiene un pobre desempeño y tiene sesgos de error muy grandes. En general, el uso de CMAP en el cálculo de los índices de sequía es mucho menos común en la literatura científica, por lo que es más difícil evaluar su eficacia para este propósito específico. Además, hay nuevos productos disponibles, tales como CHIRPS y PERSIANN, que probablemente son más precisos para los periodos comunes de registro debido a una mayor uniformidad de las fuentes de datos de entrada y productos más avanzados derivados de satélites [72].

V.2.1.3. GPCP (actualmente utilizado en Trends.Earth)

Los datos mensuales del Proyecto Global de Climatología de las Precipitaciones (GPCP) se derivan de una combinación de estaciones pluviométricas del Centro Mundial de Climatología de las Precipitaciones (CMCP), microondas pasivo (PMW) y observaciones por satélite infrarrojas (IR) y de sondeo y se brinda desde 1979 a una resolución espacial de 2,5 grados. Originalmente se desarrolló para mejorar la comprensión de la variabilidad de estacional a interanual y a más largo plazo del ciclo hidrológico mundial; el GPCP es actualmente uno de los productos de precipitación más utilizados en estudios climáticos regionales y mundiales [73]. El GPCP proporciona estimaciones de incertidumbre debida a errores aleatorios y se actualiza regularmente.

En el estudio anteriormente mencionado por Golian et al [41], el GPCP demostró una eficacia similar a CHIRPS en la predicción de sequía moderada mediante el uso del SPI y en la predicción de la distribución espacial del número de eventos

de sequía, pero tuvo peor desempeño en la predicción de las categorías de sequía severa y excepcional (**Cuadro 10**). La baja resolución espacial y temporal del producto GPCP puede limitar su capacidad de capturar los detalles espaciales y la dinámica de los eventos de precipitación extrema [74] o los terrenos complejos [69], y puede no ser suficiente para monitorizar y caracterizar operacionalmente la sequía [75]. Al igual que el CMAP, otros productos más nuevos pueden tener ventajas que los hacen más precisos [72].

V.2.1.4. PERSIANN-CDR (actualmente utilizado en Trends.Earth)

La Estimación de la precipitación a partir de información de detección remota utilizando redes neuronales artificiales (PERSIANN) fue desarrollada por el Centro de Hidrometeorología y Teledetección (CHRS) en la Universidad de California, Irvine [74]. El algoritmo PERSIANN se basa principalmente en datos de temperatura por brillo infrarrojo (IR) obtenidos de satélites geoestacionarios para estimar la intensidad de la precipitación, actualizar sus parámetros por medio de observaciones PMW de los satélites de órbita baja y un abordaje de redes neuronales artificiales entrenadas en los Centros Nacionales de Predicción Ambiental (NCEP) con datos de precipitación de etapa IV por hora para calcular los valores de precipitación finales. PERSIANN-CDR (para registro de datos climáticos) es corregido para sesgos con datos mensuales del GPCP, y se describe como un producto adecuado para los estudios globales del clima a una escala relevante para los eventos de sequía extrema.

PERSIANN-CDR proporciona estimaciones de precipitación diaria a una resolución espacial de 0,25 grados desde 1983 (**Cuadro 4**), con estimaciones mensuales consistentes con GPCP v2.2 cuando se degrada a una resolución de 2,5 grados. Los datos se pueden descargar libremente y son de acceso abierto.

Varios estudios nacionales o regionales también han utilizado PERSIANN-CDR para la detección de eventos de sequía. En China se encontró que PERSIANN-CDR tiene un desempeño similar a los productos cuadriculados con base en pluviómetros en cuanto a la captura de patrones espaciales y temporales de sequía en las zonas donde la red de pluviómetros era más densa, pero encontró grandes diferencias en las áreas donde las redes de pluviómetros eran menos densas o el terreno era más complicado [75]. En Etiopía, Bayissa et al. [68] encontraron un débil desempeño en términos de concordancia con las observaciones en terreno. En Irán, PERSIANN-CDR se utilizó para calcular diez índices estándar de precipitación extrema de la OMM y se halló una buena correlación con las observaciones

de días secos consecutivos (DSC) de los pluviómetros, aunque tendían a subestimar la precipitación diaria absoluta comparado con los pluviómetros [76]. En Hawái y la región de las Islas del Pacífico Asociadas a los Estados Unidos (USAPI), Luchetti et al. [77] expresaron gran confianza en el uso de estos datos para representar con precisión los patrones de lluvia específicos para ENOS de anomalías húmedas y secas a pesar de algunas discrepancias con los datos de los pluviómetros. Por último, este producto superó en desempeño a múltiples otros productos, incluidos CMAP y GPCP en el estudio de Gebremicael et al. [69], aunque fue superado por CHIRPS.

En general, PERSIANN-CDR cumple con los requisitos operativos de la OMM para el cálculo de un índice de sequía basado en la precipitación y la evaluación de la sequía. Ha demostrado ser eficaz en la representación de patrones espaciotemporales de precipitación bajo diversos tipos climáticos y terrenos complejos; las inconsistencias de las observaciones en terreno se dan principalmente en regiones con baja densidad de pluviómetros donde los datos interpolados son menos precisos.

V.2.1.5. Recomendaciones sobre productos globales sobre clima y tiempo para precipitación

Recomendamos utilizar CHIRPS en Trends.Earth como producto primario sobre precipitación para el monitoreo de la sequía, debido a su resolución espacial extremadamente alta, baja latencia y multitud de resoluciones temporales, que lo hacen eficaz en el monitoreo operacional de la sequía a corto y largo plazo. Además, se ha diseñado específicamente para el monitoreo de la sequía y actualmente lo emplean múltiples organizaciones para este fin. Sin embargo, en las áreas donde CHIRPS ha demostrado tener menos éxito en la detección de la sequía o la predicción de las ocurrencias de sequía y su severidad, se recomienda el acceso a productos adicionales como PERSIANN-CDR y GPCP en caso de no haber un producto nacional o regional que sea más adecuado para su uso. Recomendamos que CMAP sea sometido a más pruebas específicamente para el monitoreo de la sequía antes de ser empleado para su uso operativo.

V.2.2. Temperatura

All of the products included here are derived from gauge data, with the exception of CHIRTS-daily which is derived from gauge plus European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) Reanalysis (ERA5) data.

V.2.2.1. BETP tierra cuadrulado

Berkeley Earth (Tierra) es una organización independiente sin fines de lucro de Estados Unidos que se enfoca en la ciencia de datos ambientales, y ofrece productos cuadrulados sobre la temperatura de la tierra incluidos promedios, mínimos y máximos en intervalos diarios y mensuales, de 1753 hasta la fecha (**Cuadro 4**) [78,79]. El Producto de temperatura de la tierra de Berkeley (BETP) se deriva de los datos de los termómetro de las estaciones meteorológicas y originalmente se generó para el análisis climático. La metodología utilizada para calcular el producto final permite la inclusión de registros de temperatura cortos o discontinuos y utiliza un método estadístico conocido como Kriging para interpolar los datos de las estaciones así como un proceso de ponderación iterativa para reducir la influencia de los valores estadísticos atípicos [79]. La comparación de los aumentos de temperatura globales calculados a partir de los datos de Berkeley Earth resultaron ser comparables a los resultados de otros productos cuadrulados de temperatura, incluidos productos por NOAA, NASA y el Centro Hadley/CRU. En este momento, el producto diario se considera experimental. Debido a que este producto contiene valores tanto para datos reales y anomalías de temperatura, tiene múltiples usos en el contexto del monitoreo de la sequía, incluida la evaluación de anomalías de temperatura en relación con la sequía y el cálculo de índices de sequía como SPEI.

Con nuestro conocimiento actual, los productos de Berkeley Earth no han sido explícitamente utilizados en el cálculo de un índice de sequía o para determinar el riesgo de sequía. Además, en muchas regiones el producto no ha sido ampliamente evaluado a escala nacional, por lo que la eficacia de este producto para la detección de cambios en la temperatura o tendencias de calentamiento puede ser desconocida. En las altas latitudes de Canadá se encontró que subestima sistemáticamente el calentamiento regional [80], potencialmente porque los datos BEPT no incluyen datos observacionales clave de esa región. Por lo tanto, se necesitan más estudios para determinar la eficacia de estos productos en la detección y el monitoreo de las variaciones espaciotemporales de la temperatura y de la sequía a nivel global y regional. Se recomienda considerar este producto en futuros proyectos de investigación relacionados dada su extensa cobertura temporal y resolución espacial relativamente fina comparado con otros productos cuadrulados sobre temperatura (**Cuadro 4**).

V.2.2.2. CHIRTS-diario

CHIRTS-diario es un producto de temperatura global máxima de 2 m (Tmáx) que combina el producto mensual de datos

de temperatura de estaciones con infrarrojos del Centro de Riesgos Climáticos (CHIRTSmáx) [64] con el reanálisis ERA5 para producir datos actualizados de forma regular para apoyar el monitoreo de los extremos de temperaturas (**Cuadro 4**). CHIRTSmáx se deriva de promedios mensuales de MERRA-2 de las estimaciones de temperaturas máximas del aire a 2 m, el producto GridSat B1 TIR y los datos de estaciones CRU. CHIRTS fue desarrollado para hacer frente a la falta de información precisa en apoyo al monitoreo y la evaluación de las temperaturas extremas en muchas regiones con inseguridad alimentaria para los estudios sobre el cambio climático, el análisis de extremos climáticos y las aplicaciones de alerta temprana. Los datos mensuales de CHIRTS están disponible solamente hasta 2016, a pesar de que es factible agregar los datos diarios a datos mensuales (que siguen hasta la fecha).

Una limitación potencial de los datos de CHIRTS-diario es que, mientras que el ERA5 ha demostrado tener un desempeño robusto con respecto a la covarianza espacial y las anomalías diarias, ERA5 muestra un sesgo fresco significativo a nivel mundial y que es más pronunciado en África. Este sesgo fresco resulta en la subrepresentación del número de días de calor extremo en todo el mundo, y principalmente en África¹⁵. Sin embargo, la baja latencia de ERA5 permite que CHIRTS-diario pueda emitirse con un retraso mínimo. Además, este es el único producto combinado de datos por satélite y pluviómetro entre los analizados en este informe, donde la inclusión de datos por satélite puede proporcionar información valiosa en regiones con escasez de datos. Por último, la resolución espacial del producto es la mejor disponible, haciendo de esta una opción atractiva para el monitoreo de la sequía.

V.2.2.3. CPC Global Diario

El producto de temperatura diaria global del Centro de Predicciones Climáticas (CPC) se basa en climatología organizada en cuadrículas con la consideración de los aspectos orográficos [81]. El análisis cuadrulado de las anomalía de temperatura se define mediante la interpolación de los valores de las estaciones a través del algoritmo de Shepard, una técnica de ponderación de la distancia con corrección direccional. Los análisis cuadrulados de la temperatura se calculan al añadir la anomalía a la climatología de la CRU [82]. Recientemente, producto de temperatura diaria global del CPC se ha utilizado en el desarrollo de productos cuadrulados de alta resolución en regiones con escasez de datos [83] y para generar datos de extremos altos de temperatura [84]. Hay sustancialmente pocas aplicaciones que utilizan estos datos en el cálculo de un índice de sequía como el SPEI, por lo que es difícil evaluar su idoneidad para este propósito.

15 <https://www.chc.ucsb.edu/data/chirtsdaily>

V.2.2.4. CRUTEM: promedios más anomalías de temperatura del aire de la tierra

Los datos de temperatura de la CRU (CRUTEM) han sido desarrollados por la CRU (Universidad de Anglia del Este) en conjunto con Oficina Meteorológica] del Centro Hadley-RRUU [85,86]. Este producto se deriva de las temperaturas de aire cerca de la superficie de la tierra registradas en las estaciones meteorológicas de la Red de Climatología Histórica Global (GHCN). Ha sido desarrollado y mantenido por la CRU desde principios de la década de 1980 y se actualiza a intervalos mensuales, aproximadamente. CRUTEM proporciona promedios y anomalías de la temperatura del aire de la tierra, tanto hemisféricas como globales, como valores mensuales y anuales con resolución espacial de cinco grados. Este es uno de los productos de temperatura global más notables, utilizado ampliamente por la OMM, el IPCC y muchos estudios científicos que monitorean el calentamiento global. Una de las razones para su uso generalizado es que tiene un análisis detallado de los errores e incertidumbres en múltiples escalas temporales y espaciales desde una celda de la cuadrícula hasta un promedio global [87]. Un inconveniente en el uso de este producto es que los datos de 1961 a 1990 se expresan solo como anomalías y requerirían una serie de cálculos para obtener temperaturas reales antes de poderse implementar en plataformas operativas de monitoreo de la sequía como Trends.Earth.

V.2.2.5. GISTEMP Land

El análisis de la temperatura superficial (GISTEMP) del Instituto Goddard de Estudios Espaciales (GISS) recalcula series consistentes de anomalías de temperatura desde 1880, utilizando los datos de las estaciones de la Red de Climatología Histórica Global (GHCN) (**Cuadro 4**) [88]. Los datos se utilizan principalmente para investigar patrones y tendencias regionales y globales en relación con las anomalías de temperatura. Los datos GISTEMP se utilizan en la actualización anual de temperatura global de la NASA, en asociación con la NOAA. Se informa que GISTEMP es un índice confiable para la investigación climática actual y futura [89] y podría ser útil para monitorear las anomalías de temperatura en todo el mundo. Sin embargo, en la actualidad hay trabajos no publicados que evalúan directamente la viabilidad de utilizar este producto para el monitoreo de la sequía. Además, debido a que los valores de los datos son anomalías y no datos reales de temperatura, este producto no debe ser usado para calcular la evapotranspiración dentro de un índice de sequía como el SPEI.

V.2.2.6. NOAA GlobalTemp

NOAA GlobalTemp, anteriormente MLOST (Análisis combinado de la temperatura de la superficie Tierra-Océano), combina las temperaturas mensuales del aire de la superficie de la tierra, principalmente de la Red de Climatología Histórica Global (GHCN-M) versión 3 con las temperaturas de la superficie del mar (TSM) del análisis de la ERSST v3b (Temperatura de la superficie del mar reconstruida extendida v3b) en un producto integral de temperatura de la superficie mundial que va desde 1880 a la fecha con resolución mensual, en una cuadrícula de latitud-longitud de 5x5 grados [90,91]. Es uno de los productos principales que se usan para monitorear la variabilidad y las tendencias de temperatura a nivel global y regional. Al igual que GISTEMP, la interpolación de los registros de las estaciones se realiza para proporcionar una amplia cobertura espacial; sin embargo, la metodología es única porque los dominios terrestres y oceánicos se tratan por separado. Las zonas con escasez de datos están enmascaradas para evitar la dependencia de las estimaciones de reconstrucción altamente suavizadas, lo que lleva a una cobertura limitada en las regiones polares y partes de África y América del Sur. Los valores se proporcionan como anomalías de temperatura con relación a una climatología mensual de 1971-2000, siguiendo la convención de la OMM.



V.2.2.7. Recomendaciones sobre productos globales sobre clima y tiempo para temperatura

Recomendamos NOAA GlobalTemp y CRUTEM como los más adecuados para su posterior análisis en cuanto a su idoneidad para el monitoreo de la sequía en Trends.Earth, ya que sus valores se proporcionan tanto en forma de valores absolutos como de anomalías, y muestran una confiabilidad probada como productos utilizados para monitorear la variabilidad y las tendencias de temperatura a nivel mundial y regional. Además, la inclusión de CHIRTS proporcionará alternativas confiables para el cálculo del SPEI porque cumple con los criterios de tener series de datos espacialmente completos listos para su análisis (a diferencia de NOAA GlobalTemp, que tiene lagunas de cobertura, y CRUTEM, que requiere la transformación de ciertos años desde valores de anomalía a valores absolutos). Además, CHIRTS tiene la mejor resolución espacial disponible y es el único producto combinado de satélites y pluviómetros. La inclusión de CHIRTS permitirá el cálculo del SPEI utilizando los productos de complementarios de CHIRPS y CHIRTS. Reconocemos que hay un déficit en la literatura científica en la evaluación y comparación directa de la idoneidad de los productos globales cuadriculados sobre temperatura para el monitoreo de la sequía, y sugieren que esta área de investigación es digna de explorarse. Además, el desarrollo de productos adicionales combinados de temperatura por satélite y pluviómetro mejorará en gran medida la capacidad de la comunidad mundial de evaluar y monitorear la sequía a nivel mundial, y en especial en las regiones donde los datos de observación son escasos o no se actualizan regularmente.

V.2.3. Humedad del suelo

Los productos globales cuadriculados sobre humedad del suelo a partir de datos observacionales no están bien desarrollados; la mayoría de los datos global de humedad del suelo se obtiene a partir de información de satélites, modelos de superficie terrestre (LSM) o productos de reanálisis.

V.2.3.1. ERA5 (ERA-Interim se utiliza actualmente en Trends.Earth)

El reanálisis ERA5 sustituyó al exitoso reanálisis ERA-Interim que se inició en 2006. Incorpora un registro detallado de la atmósfera mundial, la superficie terrestre y las olas marinas desde 1950 [92]. ERA5 incluye valores de humedad del suelo y en parte se genera a partir de datos observacionales con el uso de un ajuste orográfico termodinámico. El producto tiene una resolución espacial de 0,28 x 0,28 grados con cobertura global. ERA5 está disponible dentro de 5 días de tiempo real, lo

que lo clasifica alto en términos de disponibilidad operacional; combinado con su largo y consistente registro climático, hace que sea adecuado para el monitoreo de las condiciones climáticas extremas. En un estudio, ERA5 mostró correlación general mayor con las observaciones in situ en comparación con otros cuatro productos, incluido MERRA-2 [93]. En los sitios individuales, ERA5 demostró una considerable fidelidad en los ciclos anuales de la humedad del suelo. ERA también representa los valores de humedad del suelo a diferentes profundidades en la columna de suelo, volviéndolo potencialmente más útil para el monitoreo de los efectos de la sequía a más largo plazo (es decir, sequía agrícola/ecológica).

V.2.3.2. Producto combinado ESA CCI para humedad del suelo

La Iniciativa sobre el Cambio Climático de la Agencia Espacial Europea (ESA CCI) produce tres productos globales independientes sobre la humedad del suelo derivados de sensores de microondas activos, pasivos y combinados (activo más pasivo) por satélite que abarcan más de 40 años de tiempo. Los productos activos y pasivos se incorporan en el producto combinado utilizando un árbol de decisiones que selecciona ya sea uno solo de los productos o utiliza la media aritmética de los dos durante un período determinado con base en la suposición de que las recuperaciones activas tienden a funcionar mejor en zonas con mayor densidad de vegetación mientras que las recuperaciones pasivas tienden a obtener mejores resultados en áreas con vegetación más escasa [42]. El producto combinado es, por tanto, más adecuado para el monitoreo de la sequía sobre áreas más grandes, donde las diferencias en la densidad de la vegetación son de una certeza absoluta.

El producto ESA CCI-SM (humedad del suelo) parece representar mejor las condiciones de humedad del suelo que MERRA-2 LSM [58] en un estudio realizado en la India. Sin embargo, debido a que detecta sequedad solo en la capa superior de la columna del suelo (generalmente asociada con condiciones más cálidas que el promedio), los índices derivados pueden ser más comparables con el SPI calculado durante un período corto, como para la sequía meteorológica. Las mayores incertidumbres se encuentran en el período inicial del producto CCI-SM y fueron observadas por Nicolai-Shaw et al. [94].

V.2.3.3. MERRA-2 (actualmente utilizado en Trends.Earth)

El Análisis Retrospectivo de la Era Moderna para Investigación y Aplicaciones, versión 2 (MERRA-2) es el último reanálisis atmosférico de la era moderna de los satélites, generado por la Oficina Global de Modelado y Asimilación (GMAO)

de la NASA. MERRA-2 asimila los tipos de observación no disponibles para su predecesor, MERRA, e incluye actualizaciones del modelo y esquema de análisis del Sistema Goddard de Observación de la Tierra (GEOS) a fin de proporcionar un análisis climático continuo y viable más allá de la finalización de MERRA [95]. Los datos de la humedad del suelo de MERRA-2 actualmente se incluyen en Trends.Earth. Sin embargo, los estudios revisados por expertos han mostrado que hay otros productos que tienen mejor desempeño que Merra-2[58,93], incluidos ERA5 y ESA-CCI.

V.2.3.4. NASA-USDA Datos globales de humedad del suelo

Los datos globales de humedad del suelo de NASA-USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos) proporcionan información global sobre la humedad del suelo a una resolución espacial de 0,25 x 0,25 grados. Estos productos incluyen la humedad del suelo superficial y subsuperficial (mm), el perfil de humedad del suelo (%) y las anomalías de la humedad del suelo superficial y subsuperficial (-). El producto se genera mediante la integración de las observaciones derivadas de satélites sobre Humedad del Suelo Activa Pasiva

(SMAP) y Humedad del Suelo y Salinidad del Océano (SMOS) en el modelo Palmer modificado de dos capas usando el abordaje de asimilación de datos del Filtro de Kalman ensamblado (EnKF). La asimilación de las observaciones de humedad del suelo derivadas de satélites ayudó a mejorar las predicciones de humedad del suelo basadas en modelos, en particular sobre las zonas mal instrumentadas del mundo que carecen de datos de precipitación de buena calidad. En Sazib et al. [36], las anomalías RZSM calculados en parte a partir de datos de humedad del suelo de NASA-USDA estaban bien correlacionadas con SPI-3 y menos bien con SPI-6 y SPI-9.

V.2.3.5. Recomendaciones de productos de humedad del suelo

Recomendamos una exploración ulterior del producto combinado ESA-CCI para el monitoreo de la sequía porque utiliza los datos de microondas por satélite tanto activos como pasivos, en los que las recuperaciones activas tienden a tener un mejor desempeño en zonas con mayor densidad de vegetación, y las recuperaciones pasivas tienden a obtener mejores resultados en áreas con vegetación más escasa [42]. La robustez de este producto para la detección y el monitoreo de la sequía a través de diferentes densidades de vegetación lo hace digno de figurar en las cajas de herramientas globales de monitoreo de la sequía. Además, se recomienda ERA5 como opción de respaldo, pues ha mostrado una correlación general mayor con

las observaciones in situ y representa la humedad del suelo a diferentes profundidades dentro de la columna del suelo, lo que podría facilitar el análisis más allá de la capacidad de los demás productos que miden solamente la capa más superficial.

V.3. Productos para el monitoreo la exposición de las poblaciones humanas a la sequía

V.3.1. Human population density

V.3.1.1. Población mundial cuadrículada - GPW, versión 4

La colección de Población mundial cuadrículada (Gridded Population of the World, GPW) es un producto cuadrículado sobre población global desarrollado por el Centro para la Red Internacional de Información sobre Ciencias de la Tierra (CIESIN) de la Universidad de Columbia. Ahora en su cuarta versión (GPWv4), esta capa espacialmente desglosada se cuadrícula con una resolución de salida de 30 segundos de arco (aproximadamente 1 km en el ecuador) e incorpora insumos tales como cuadros de los censos de población y límites geográficos nacionales, áreas protegidas y cuerpos de agua. Los datos de entrada se ponderan y extrapolan para producir estimaciones de población (recuentos y densidades) para los años 2000, 2005, 2010, 2015 y 2020. También se produce un conjunto de estimaciones ajustadas a las predicciones de población a nivel nacional del informe Perspectivas de la Población Mundial de las Naciones Unidas para el mismo conjunto de años. Los datos rásteres también están disponibles para las características demográficas básicas (edad y sexo), los indicadores de calidad de datos y las áreas de tierra y agua. El resumen de características de GPWv4 se muestra en el **Cuadro 4**.

Los puntos fuertes de GPWv4 son que el método de estimación de la población por medio de la ponderación del área es directo, es decir, «ligeramente modelado», lo que proporciona fidelidad al ingreso de los datos del censo. Por lo tanto, este producto se puede analizar junto con otros productos tales como la cobertura de la tierra y la elevación, sin preocuparse por la endogeneidad [96]. Sin embargo, la desventaja de utilizar la ponderación del área como método de desglose espacial lleva a una alta variabilidad de las estimaciones a nivel de cuadrícula. En consecuencia, en aquellos condados donde las unidades de entrada (por ejemplo: administrativas) son relativamente grandes, la precisión de las estimaciones de población para una cuadrícula en particular dentro de esa unidad puede verse comprometida. [96].

V.3.1.2. Proyecto de mapeo urbano-rural global (GRUMP)

La colección del Proyecto de Mapeo Urbano-Rural Global (GRUMP) es un producto cuadrículado de población global desarrollado por CIESIN en colaboración con el Instituto Internacional de Investigación sobre Políticas Alimentarias (IFPRI), el Banco Mundial y el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). El Proyecto de Mapeo Urbano-Rural Global, Versión 1 (GRUMPv1) consta de ocho productos globales: cuadrículas de recuento de población, cuadrículas de densidad de población, puntos de asentamiento urbano, cuadrículas de extensión urbana, cuadrículas de áreas de unidades geográficas/terrestres, límites nacionales, cuadrículas de identificación nacional y costas. Todos los productos cuadrículados están disponibles con una resolución de 30 segundos de arco (1 km en el ecuador), con estimaciones de población normalizadas a 1990, 1995 y 2000 con base en estimaciones y proyecciones del PNUD. El resumen de las características de GRUMP v1 se muestra en el **Cuadro 4**.

Uno de los puntos fuertes de GRUMP v1 es que el método de estimación de población del mapeo dasimétrico binario es directo, es decir, «ligeramente modelados», lo que proporciona fidelidad al ingreso de los datos de población a la vez que considera la extensión de los asentamientos. Por ejemplo: GRUMPv1 se basa en GPWv3 mediante la creación de una cuadrícula de densidad y recuento de población que distingue entre las zonas urbanas y rurales. Sin embargo, la principal limitante de GRUMPv1 es la falta tanto de datos contemporáneos como de desglose por género.

V.3.1.3. Capa Global de Asentamientos Humanos - Población (GHS- POP)

La Capa Global de Asentamientos Humanos - Población (GHS-POP) es un producto de población global cuadrículado desarrollado por el CCI en colaboración con CIESIN. Todos los productos cuadrículados están disponibles con una resolución de 9 segundos de arco y 30 segundos de arco (250 m y 1 km en el ecuador, respectivamente) con estimaciones de población normalizadas a 1975, 1990, 2000 y 2015 sobre la base de estimaciones y proyecciones del PNUD. Estas estimaciones de población se desglosaron del GPWv4 sobre la base de la Capa Global de Asentamientos Humanos (GHSL) para cada año objetivo correspondiente. El resumen de las características de GHS-POP se muestra en el **Cuadro 4**.

V.3.1.4. Base de datos poblacional mundial LandScan

El producto LandScan Global es un producto de población global cuadrículado desarrollado por el Laboratorio Nacional de Oak Ridge (ORNL). Esta capa espacialmente desagregada está cuadrículada con una resolución de salida de 30 segundos de arco (aproximadamente 1 km en el ecuador) e incorpora insumos tales como cuadros de censos poblacionales, límites geográficos nacionales, carreteras, cobertura de la tierra, estructuras construidas, áreas urbanas, infraestructura y datos ambientales. Los datos de entrada se modelan para producir estimaciones anuales de población para los años 1998 y 2000-2018. El resumen de características de LandScan se muestra en el **Cuadro 4**.

Uno de los puntos fuertes de LandScan es que el método de estimación poblacional de mapeo dasimétrico es multivariado, es decir «altamente modelado» y por lo tanto adaptado a las condiciones de los datos y la naturaleza geográfica de cada país y región. La principal desventaja es que LandScan carece de desglose por género.

V.3.1.5. Estimación de la población mundial del ESRI

Los productos de la estimación de la población mundial, una colección de productos cuadrículados sobre población mundial, fueron desarrollados por Instituto de Investigación de Sistemas Ambientales (ESRI). Esta capa espacialmente desagregada está cuadrículada con una resolución de salida de 150 metros en 2016 y 250 m para los productos anteriores e incorpora insumos tales como cuadros de censos poblacionales, límites geográficos nacionales, carreteras, cobertura de la tierra y cuerpos de agua. Los datos de entrada se modelan para producir estimaciones anuales de población para los años 2013 y 2015-2016. El resumen de las características de la Estimación Mundial se muestra en el **Cuadro 4**.

La fortaleza de la Estimación de la Población Mundial del Esri es que el método de estimación poblacional de mapeo dasimétrico es multivariado, es decir, «altamente modelado» y por lo tanto adaptado a las condiciones de los datos y la naturaleza geográfica de cada país y región. Una desventaja es que se necesitaría una suscripción a Esri ArcGIS Online, una cuenta organizacional o una cuenta ArcGIS de Desarrollador (Developer) para acceder a este producto. Sin embargo, Esri proporciona acceso de cuenta gratuito a ciertas organizaciones personas sin fines de lucro u otras entidades calificadas, por lo que esta limitación puede ser superada.

V.3.1.6. WorldPop

La colección WorldPop es un producto global geoespacial de alta resolución y cuadrículado sobre distribuciones poblacionales, demografía y dinámica. Las capas espacialmente desagregadas de WorldPop están cuadrículadas con una resolución de salida de 3 segundos de arco y 30 segundos de arco (aproximadamente 100 m y 1 km en el ecuador, respectivamente) e incorpora insumos tales como cuadros de censos poblacionales, límites geográficos nacionales, carreteras, cobertura de la tierra, estructuras construidas, áreas urbanas, iluminación nocturna, infraestructura, datos ambientales, áreas protegidas y cuerpos de agua. Los datos de entrada se modelan para producir estimaciones anuales de población para los años 2000-2020 y algunos años específicos para países seleccionados. También se produce un conjunto de estimaciones ajustadas a las predicciones de población a nivel nacional del PNUD para el mismo conjunto de años. El resumen de características de WorldPop se muestra en el Cuadro 4.

Uno de los puntos fuertes de WorldPop es que el método de estimación poblacional de mapeo dasimétrico es multivariado, es decir «altamente modelado» y por lo tanto adaptado a las condiciones de los datos y la naturaleza geográfica de cada país y región. También se dispone de información de género. La debilidad de WorldPop es que la utilización de modelos de interpolación tan complejos con datos censales escasos puede dar lugar a estimaciones de población altamente inciertas e imprecisas en algunas regiones subnacionales y rurales. A pesar de la limitación antes mencionada, WorldPop sigue siendo el producto cuadrículado de población más idóneo ya que satisface todos nuestros criterios de inclusión, incluidas la resolución espacial, cobertura global, frecuencia de las actualizaciones de datos e inclusión de un componente desglosado por género.

V.3.1.7. Recomendaciones sobre productos de densidad de población

Con base en los productos de densidad de población para monitorear la exposición a la sequía que se describen en esta revisión, recomendamos que el avance hacia el OE3 aproveche WorldPop como los productos espacialmente cuadrículados de elección ya que cumplen con todos nuestros criterios de inclusión/exclusión. Algunas ventajas de los productos de WorldPop incluyen: 1) la mejor resolución cuadrículada (~100 m) actualmente disponible para las estimaciones de población a nivel nacional para todo el continente; 2) la eficacia de la estimación de población multivariada garantiza que el producto se adapte a las condiciones de los datos y a la naturaleza geográfica de cada país y región; 3) la disponibilidad de productos de recuento de población mundial estructurados por género para todos los países del mundo, para cada año entre

2000 y 2020. Algunas limitaciones de estos productos incluyen su naturaleza «altamente modelada» y una resolución espacial relativamente más alta que podría afectar a los tiempos generales de procesamiento computacional.

V.3.2. Exposición urbana versus rural: Capas de asentamientos

V.3.2.1. Capa Global de Asentamientos Humanos - Cuadrícula acumulada (GHS-BUILT)

La Capa Global de Asentamientos Humanos – Acumulada (GHS-BUILT) es un producto global cuadrículado sobre asentamientos desarrollado por el CCI. Todos los productos cuadrículados están disponibles a una resolución de 30 m, 250 m y 1 km, con la clasificación de presencia acumulada normalizada a los años 1975, 1990, 2000 y 2014 (Cuadro 4). Las imágenes de Landsat se utilizaron para estimar la proporción de la huella de edificación y las superficies impermeables dentro de cada celda de la cuadrícula para cada año objetivo correspondiente. Este producto es de acceso abierto.

V.3.2.2. Capa Global de Asentamientos Humanos - Modelo de asentamientos (GHS-SMOD)

La Capa Global de Asentamientos Humanos – Modelo de asentamientos (GHS-SMOD) es un producto global cuadrículado sobre asentamientos desarrollado por el CCI y cuadrículado a una resolución de 1 km (Cuadro 4). Este producto incorpora la densidad acumulada de GHS-BUILT y la cuadrícula poblacional GHS-POP como insumos para crear clases (centro urbano, agrupación [clúster] urbano, rural) derivadas de combinaciones de densidad de población, tamaño y densidad acumulada, normalizadas a los años 1975, 1990, 2000 y 2015. Este producto es de acceso abierto.

V.3.2.3. Recomendaciones sobre productos de capas de asentamientos

En la medida de lo posible, recomendamos la integración del producto de asentamientos GHS-SMOD que indica la exposición urbana frente a la rural, puesto que incorpora aspectos de GHS-BUILT y una resolución manejable de 1 km. Los usuarios finales deben ser conscientes de que el último año para el que se normalizó GHS-SMOD fue 2015. Además, GHS-SMOD no se desglosa por género.

V.4. Productos sobre el monitoreo de la exposición ecosistémica a la sequía

V.4.1 Biomás antropogénicos

Los Biomás Antropogénicos del Mundo, Versión 1 (también llamados Antromas o Biomás Humanos) es distribuido por CIESIN y está disponible a través del SEDAC de la NASA. Describe patrones ecológicos significativos a nivel mundial en la biosfera terrestre que son causados por la interacción humana directa y sostenida con los ecosistemas. Estas interacciones incluyen la agricultura, la urbanización, la silvicultura y otros usos de la tierra. Los biomás convencionales se clasifican con base en los patrones globales de vegetación relacionados con el clima (por ejemplo: selvas tropicales, pastizales, tundra). Este producto proporciona una visión contemporánea de la biosfera terrestre que toma en cuenta directamente la alteración humana que ha modificado fundamentalmente los patrones globales relacionados con la forma, los procesos y la biodiversidad de los ecosistemas.

Este producto se elaboró utilizando un procedimiento de mapeo multietapa basado en la población (urbana, no urbana), el uso de la tierra (porcentaje del área de pastos, cultivos, regadío, arroz y tierras urbanas) y la cobertura de la tierra (porcentaje del área de árboles y tierra desnuda). Los productos que sirven de insumos incluyen datos poblacionales de Landsat, datos de uso de la tierra y datos de cobertura de la tierra. Se publica una descripción detallada del procedimiento metodológico en Ellis y Ramankutty [48]

V.5. Productos para el monitoreo de la vulnerabilidad de la población y los ecosistemas a la sequía

V.5.1. Ecológicos

V.5.1.1. Paisajes Forestales Intactos

El concepto de Paisajes Forestales Intactos (IFL) y su definición técnica fueron presentados por un equipo diverso (incluyendo Greenpeace, La Universidad de Maryland y Transparent World [Mundo Transparente], con el apoyo del Instituto de Recursos Mundiales y el Fondo Mundial para la Naturaleza Rusia) para

ayudar a crear, implementar y monitorear políticas relacionadas con la alteración y fragmentación de los paisajes de nivel regional a global. La esencia del método IFL es utilizar imágenes satelitales de resolución espacial media disponibles libremente para establecer los límites de las grandes áreas forestales no desarrolladas, llamadas IFL, y utilizar estos límites como línea base para el monitoreo de la degradación forestal [97–99].

La actualización más reciente de 2017 empleó los últimos datos compuestos disponibles de Landsat sin nubes de 2016 y los productos anuales de cambio de la cobertura forestal producidos por el laboratorio de Análisis y Descubrimiento Global de Tierras. Por lo tanto, el producto de 2017 representa las condiciones lo más cercanas posibles al final del 2016 y principios del 2017.

V.5.1.2. ESA CCI (mapas MRLC v 207)

La Iniciativa sobre el Cambio Climático-Cobertura de la tierra Terrestre de la Agencia Espacial Europea (ESA CCI-LC¹⁶; Características de la tierra con resolución múltiple - mapas MRLC v207) es producido por la Oficina del Clima de la ESA e incluye mapas anuales de cobertura terrestre global a 300 m de resolución espacial de 1992 a 2015. Este producto utiliza el Sistema de Clasificación de Cobertura Terrestre (LCCS) de las Naciones Unidas, que permite la conversión de los 22 valores de clasificación de cobertura terrestre a una distribución de Tipos funcionales vegetales requerida por los modelos del sistema terrestre.

Estos mapas se derivan de un mapa MRLC de línea base único que se crea utilizando una cadena de clasificación aplicada en todo el archivo de alta resolución (FR) y resolución reducida (RR) del Espectrómetro de imágenes de resolución media (MERIS) de 2003 a 2012. Independientemente de esta línea base, los cambios en las MRLC se detectan a 1 km sobre la base de una serie temporal de clasificaciones globales anuales generadas a partir del Sistema de transmisión de imágenes de alta resolución del radiómetro avanzado de muy alta resolución (AVHRR HRPT; 1992 - 1999), Satélite para la observación de la Tierra Vegetación (SPOT-Vegetación; 1999 - 2012) y el Proyecto de autonomía a bordo-Vegetación PROBA-V (2013 - 2015). La trayectoria temporal de cada píxel se analiza sistemáticamente para representar los principales cambios utilizando una clasificación simplificada que consiste en tierras de cultivo, bosques, pastizales, humedales, asentamientos y otras tierras; otros se dividen en matorrales, vegetación escasa, áreas desnudas y agua. Los cambios detectados a 1 km se vuelven a mapear a 300 m donde haya disponibilidad de datos MERIS FR o PROBA-V.

16 <http://www.esa-landcover-cci.org/>

El producto ESA CCI-LC se ha utilizado para analizar la expansión de asentamientos construidos [100], mapear el indicador de escasez de agua del ODS 6 [101], y es el producto por defecto de cobertura terrestre proporcionado por la CNULD a los países para la presentación de informes sobre el indicador 15.3.1 de los ODS [5]. Este producto de alta resolución también puede emplearse para mapear las conversiones del uso de la tierra alrededor del mundo -se ha implementado para este propósito en Trends.Earth.

V.5.1.3. Copernicus Global Land Cover (componente global de cobertura de la tierra del programa Copérnico)

El producto Copernicus Global Land Cover se deriva del sensor del Proyecto de autonomía a bordo-Vegetación (PROBA-V) y es un producto de cobertura terrestre de resolución media que se enfoca principalmente en la detección de la cobertura de la tierra y los cambios en esta. Los datos de cobertura de la tierra se proporcionan de 2015 a 2019 junto con capas continuas de vegetación en terreno, que a su vez proporcionan estimaciones proporcionales de la cobertura vegetal para varios tipos de cobertura de la tierra. La versión 3 de las clases anuales de cobertura terrestre con resolución espacial de 100 m fueron mapeadas con alta estabilidad temporal a lo largo de los años y una precisión de mapeo general de poco más del 80 por ciento¹⁷.

Este producto se utiliza ampliamente en una variedad de aplicaciones, incluidas la deforestación, desertificación, urbanización, degradación de la tierra, pérdida de biodiversidad y funciones ecosistémicas, gestión de los recursos hídricos, agricultura y seguridad alimentaria, el desarrollo urbano y regional y el cambio climático.

V.5.1.4. AVHRR/GIMMS

El producto AVHRR/GIMMS fue creado a partir del proyecto Sistema global de monitoreo y modelado de inventario (GIMMS). Los datos se ensamblan a partir de diferentes sensores AVHRR y consideran diferentes efectos perjudiciales tales como pérdida de calibración, deriva orbital, erupciones volcánicas, etc. Este producto proporciona valores globales para el NDVI, que es un indicador simple que se puede utilizar para estudiar la condición de la vegetación o la productividad usando datos multispectrales por teledetección. Se calcula utilizando la ecuación:

$$NDVI = \frac{(NIR - Rojo)}{(NIR + Rojo)}$$

donde *NIR* representa la banda infrarroja cercana y *Rojo* representa la banda roja.

Los datos de AVHRR se utilizan para generar imágenes basadas en NDVI de la superficie terrestre del planeta de manera regular, creando así series de imágenes que retratan los cambios estacionales y anuales de la vegetación en todo el mundo. Los datos de AVHRR NDVI están disponibles en una base de datos procesada de forma consistente a una cuadrícula de remuestreo de 8 km que cubre todo el planeta. La última versión del producto GIMMS NDVI abarca el período desde julio de 1981 a 2015, y se denomina NDVI3g (GIMMS NDVI de tercera generación de los sensores AVHRR). Este producto está actualmente disponible en Trends.Earth para el cálculo del indicador 15.3 de degradación de la tierra de los ODS [5,102].

V.5.1.5. MOD13Q1-col16

Los datos de los Índices de vegetación (MOD13Q1) Versión 6 del Espectrorradiómetro de imágenes de resolución moderada (MODIS) de Terra¹⁸ se generan cada 16 días con una resolución espacial de 250 metros como un producto de Nivel 3 (lo que significa que se ha evaluado la precisión del producto y que las incertidumbres del producto están bien establecidas por mediciones independientes de manera sistemática y estadísticamente robusta que representa las condiciones globales). El producto MOD13Q1 proporciona dos capas de vegetación primarias. La primera es el NDVI, que se conoce como el índice de continuidad al NDVI existente derivado de AVHRR. La segunda capa de vegetación es el Índice de vegetación mejorado (EVI), que ha mejorado la sensibilidad sobre las regiones de alta biomasa y se calcula por medio de la ecuación:

$$EVI = G \times \frac{(NIR - Rojo)}{(NIR + C1 \times Rojo - C2 \times Azul + L)}$$

donde *NIR* representa la banda infrarroja cercana, *Rojo* representa la banda roja y *Azul* representa la banda azul. *L* es el ajuste de fondo del dosel que aborda la transferencia radiante no lineal y diferencial de NIR y rojo a través de un dosel, y *C1*, *C2* son los coeficientes del término de resistencia al aerosol, que utiliza la banda azul para corregir las influencias del aerosol en la banda roja. Los coeficientes adoptados en el algoritmo MODIS-EVI son *L*=1, *C1*=6, *C2*=7,5 y *G* (factor de ganancia) = 2,5. El algoritmo elige el mejor valor de píxel disponible de todas las adquisiciones del período de 16 días. Los criterios utilizados son

17 <https://land.copernicus.eu/global/products/lc>

18 <https://lpdaac.usgs.gov/products/mod13q1v006/>

nubes bajas, ángulo de visión bajo y el valor NDVI/EVI más alto. Este producto está actualmente disponible en Trends.Earth para el cálculo del indicador 15.3 de degradación de la tierra de los ODS [5,102].

V.5.1.6. SoilGrids V 2.0

SoilGrids¹⁹ son producidos por ISRIC – Información Mundial de los Suelos (legalmente registrado como el Centro Internacional de Referencia e Información en Suelos) y utilizan métodos de aprendizaje automático de última generación para mapear la distribución espacial de las propiedades del suelo en todo el mundo. Los modelos de predicción se ajustan con más de 230.000 observaciones sobre perfiles del suelo y una serie de covariables ambientales, incluidos clima, cobertura terrestre y morfología del terreno. Los mapas globales de propiedades del suelo de SoilGrids incluyen datos a seis intervalos estándar de profundidad con una resolución espacial de 250 m. La incertidumbre de predicción se cuantifica por los límites inferior y superior de un intervalo de predicción del 90 por ciento. La capa de incertidumbre adicional es la relación entre el rango entre cuartiles y la median²⁰. Los mapas de SoilGrids están a disposición del público bajo la Licencia CC-BY 4.0.

Se dispone de mapas de las siguientes propiedades del suelo: pH, contenido de carbono orgánico del suelo, densidad aparente, contenido de fragmentos gruesos, contenido de arena, contenido de limo, contenido de arcilla, capacidad de intercambio de cationes (CEC), nitrógeno total, así como densidad de carbono orgánico del suelo y existencias de carbono orgánico del suelo. Los datos sobre existencias de carbono orgánico del suelo están actualmente disponibles en Trends.Earth para el cálculo del indicador 15.3 de degradación de la tierra de los ODS [5,102].

V.5.1.7. WorldPop

Véase la Sección V.3.1.6 para obtener una descripción de los datos de WorldPop.

V.5.1.8. Global Human Footprint (Huella Humana Global)

El producto de Huella Humana Global fue desarrollado por la Sociedad para la Conservación de la Vida Silvestre y el CIESIN en 2005. Ahora, en su segunda versión, este producto cuadrículado espacialmente con resolución de 1 km refleja el Índice de Influencia Humana (IIH) creado a partir de nueve

capas de datos globales que cubren la presión de la población humana, el uso de la tierra, la infraestructura y el acceso, todo normalizado por bioma y ámbito que abarcan desde el período de 1995-2004.

V.5.1.9. Estrés hídrico de línea base (BWS)

La capa de Estrés hídrico de línea base (BWS), desarrollada como parte del Acueducto del Instituto de Recursos Mundiales (IRM), es un indicador que mide la proporción de las extracciones totales de agua en relación con los suministros anuales renovables disponibles de agua superficial. Un porcentaje más alto significa que hay más usuarios de agua que compiten por suministros hídricos limitados; los porcentajes normalmente se clasifican según el **Cuadro 11**. Este producto está disponible globalmente a nivel nacional y subnacional (excepto en Groenlandia y la Antártida). Una desventaja significativa de este producto es que, en este momento, tiene una obsolescencia de más de 10 años, y no hay indicación de futuras emisiones en las que las Naciones Unidas o las naciones miembros pudieran confiar para el monitoreo y la presentación de informes sobre los OE de la CNUCLD. Este producto no permite el desglose por género.

Cuadro 11. Estrés hídrico de línea base (extracción/flujo disponible).

Bajo	< 10%
Bajo a medio	10 – 20 %
Medio a alto	20 – 40 %
Alto	40 – 80 %
Extremadamente alto	> 80 %
Árido y bajo uso de agua	Agua azul disponible y extracción de agua inferior a 0,03 y 0,012 m ³ /m ² , respectivamente

V.5.1.10. Base de datos mundial sobre áreas protegidas (WDPA)

La Base de Datos Mundial sobre Áreas Protegidas (WDPA) es un producto espacial global sobre áreas protegidas terrestres y marinas (**Cuadro 4**). La WDPA es un proyecto conjunto entre el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN). La compilación y gestión de la WDPA

19 <https://www.isric.org/explore/soilgrids>

20 <https://soilgrids.org>

es llevada a cabo por el Centro Mundial de Vigilancia de la Conservación del PNUMA (CMVC-PNUMA) en colaboración con los gobiernos, las organizaciones no gubernamentales, la academia y la industria. Los datos se actualizan mensualmente y se ponen a disposición en línea a través del sitio web Protected Planet (Planeta Protegido), donde los datos son visibles y descargables en formato de representación vectorial o shapefile de polígonos, entre otros formatos no espaciales.

V.5.2. Económicos

V.5.2.1. Datos económicos organizados geográficamente (G-Econ)

Los Datos económicos globales cuadrículados geográficamente (G-Econ) fueron producidos originalmente por la Universidad de Yale y más tarde mejorados por el CIESIN. Ahora, en su 4ª versión, este producto contiene celdas de cuadrícula de un grado (resolución de 111 km en el ecuador) derivadas de datos del Producto Interno Bruto (PIB) tanto para el tipo de cambio del mercado (MER) como para la paridad de poder adquisitivo (PPA) para los años 1990, 1995, 2000 y 2005. El MER es el tipo de cambio entre la moneda local y el dólar estadounidense establecido por el mercado para un intervalo de tiempo determinado. La PPA es el tipo de cambio entre la moneda

de un país y el dólar estadounidense ajustado para reflejar el costo real en dólares estadounidenses de comprar una canasta estandarizada de bienes de mercado en dicho país utilizando la moneda local.

V.5.2.2. Indicadores de seguridad alimentaria de FAOSTAT

Los Indicadores de Seguridad Alimentaria de FAOSTAT proporcionan datos relativos a la disponibilidad, el acceso, la estabilidad y la utilización de los alimentos a nivel nacional de 2000 a 2020. Los indicadores se revisan anualmente con base en la nueva información recibida de los países y las organizaciones internacionales. Las estadísticas están sujetas al marco general de aseguramiento de la calidad de la FAO, y su precisión varía por indicador en función del diseño del muestreo y el tamaño y la precisión de las variables básicas que componen el indicador. Los datos son razonablemente comparables por país a lo largo del tiempo si la metodología y la clasificación no han cambiado, pero existe una comparabilidad geográfica limitada entre los países. La lista completa de los indicadores incluidos en este producto y sus mediciones asociadas se muestran en el **Cuadro 12**. La prevalencia de la inseguridad alimentaria de moderada a severa de la población total se calcula utilizando la Encuesta sobre experiencias de inseguridad alimentaria (FIES, **Figura 9**).



Cuadro 12. Métricas incluidas en la base de datos de Indicadores de Seguridad Alimentaria de FAOSTAT.

DISPONIBILIDAD	
Idoneidad promedio del suministro energético de los alimentos	Porcentaje (promedio de 3 años)
Porcentaje (promedio de 3 años)	Constante a 2004-2006 i\$/tope (promedio de 3 años)
Suministro del suministro energético de los alimentos utilizado en la estimación de la prevalencia de la subnutrición	Kcal/tope/día (promedio de 3 años)
Participación del suministro energético de los alimentos derivada de cereales, raíces y tubérculos	Kcal/tope/día (promedio de 3 años)
Suministro promedio de proteína	g/tope/día (promedio de 3 años)
Suministro promedio de proteína de origen animal	g/tope/día (promedio de 3 años)
ACCESO	
Densidad de líneas ferroviarias	Recorrido total en km por cada 100 km ² de superficie
Producto Interno Bruto per cápita, PPA, disseminación	Constante a 2011 en dólares internacionales (i\$)
Prevalencia de la subnutrición	Porcentaje
Cantidad de personas con subnutrición	Millones
Prevalencia de inseguridad alimentaria severa en la población total	Porcentaje
Prevalencia de inseguridad alimentaria de moderada a severa en la población total	Porcentaje
Número de personas con inseguridad alimentaria severa	Millones
Número de personas con inseguridad alimentaria de moderada a severa	Millones
Estabilidad	
Tasa de dependencia de las importaciones de cereales	Porcentaje (promedio de 3 años)
Porcentaje de las tierras de labranza equipadas para el riego	Porcentaje (promedio de 3 años)
Valor de las importaciones de alimentos en exportaciones totales de mercancías	Porcentaje (promedio de 3 años)
Estabilidad política y ausencia de violencia/terrorismo	Índice
Variabilidad en la producción de alimentos per cápita	Constante 2004-2006 miles de dólares internacionales per cápita
Variabilidad del suministro de alimentos per cápita	Kcal/tope/día
Utilización	
Porcentaje de la población que utiliza servicios de agua potable gestionados de forma segura	Porcentaje
Porcentaje de la población que utiliza al menos un servicio básico de agua potable	Porcentaje
Porcentaje de la población que utiliza servicios de saneamiento gestionados de forma segura	Porcentaje
Porcentaje de la población que utiliza al menos un servicio básico de saneamiento	Porcentaje
Porcentaje de niños menores de 5 años afectados por consunción	Porcentaje
Porcentaje de niños menores de 5 años con retraso en el crecimiento	Porcentaje
Porcentaje de niños menores de 5 años afectados por sobrepeso	Porcentaje
Prevalencia de la obesidad en la población adulta (18 años y más)	Porcentaje
Prevalencia de anemia en las mujeres en edad reproductiva (15-49 años)	Porcentaje
Prevalencia de lactancia materna exclusiva en los bebés de 0 a 5 meses de edad	Porcentaje
Prevalencia de bajo peso al nacer	Porcentaje



Figura 9. El cuestionario de la Encuesta sobre experiencias de inseguridad alimentaria (FIES).

Durante los últimos 12 meses, ¿hubo un momento en el que, debido a la falta de dinero u otros recursos:

1. Le preocupaba no tener suficientes alimentos que comer?
2. No pudo comer alimentos sanos y nutritivos?
3. Comió sólo unos pocos tipos de alimentos?
4. Tuvo que saltarse una comida?
5. Comió menos de lo que pensaba que debía comer?
6. Su hogar se quedó sin comida?
7. Tenía hambre pero no comió?
8. Estuvo sin comer durante un día entero?

V.5.2.3. Producto sobre puntos críticos de inseguridad alimentaria de la NASA v1

El producto sobre puntos críticos de inseguridad alimentaria es generado por el SEDAC de NASA y alojado en el CIESIN. Este producto contiene el nivel de intensidad y frecuencia de la inseguridad alimentaria durante 10 años entre 2009 y 2019, así como los puntos críticos que han experimentado eventos de inseguridad alimentaria consecutivos con base en los datos de seguridad alimentaria de FEWS NET. Los datos cuadriculados (250 x 250 m) se basan en análisis subnacionales de seguridad

alimentaria proporcionados por FEWS NET (Red de sistemas de alerta temprana contra la hambruna) para determinados países de cinco regiones, entre ellas Centroamérica y el Caribe, Asia Central, África Oriental, África Meridional y África Occidental. La clasificación se basa en la Clasificación integrada de las fases de seguridad alimentaria (IPC), donde la inseguridad alimentaria se define como General, Crónica, Crisis, Emergencia y Hambruna. Este producto se actualiza según sea necesario, lo que dificulta depender de una versión planificada. La mayor ventaja de este producto es que está cuadriculado, y aunque no cubre toda la Tierra, se centra en las regiones que probablemente experimenten inseguridad alimentaria.

V.5.2.4. Índice de Pobreza Multidimensional - IPM

El Índice de pobreza multidimensional (IPM) es una medida internacional de la pobreza multidimensional aguda; abarca más de 100 países de bajos y medianos ingresos (PBMI). El IPM fue propuesto por Alkire y Foster [103](2007) -y luego fue descrito en más detalle por Alkire y Santos [104,105] - como resultado de un esfuerzo conjunto de la Iniciativa sobre Pobreza y Desarrollo Humano de Oxford (OPHI), la Universidad de Oxford y el Informe sobre el Desarrollo Humano (HDR) de la Oficina del PNUD. Ha sido publicado anualmente por OPHI y en los HDR desde 2010 [106].

El IPM evalúa la pobreza a nivel individual, midiendo la privación en lugar de la posesión y «muestra el número de

Cuadro 13. Dimensiones, indicadores, límites de privación, ponderaciones y áreas de los ODS abordadas en el Índice de pobreza multidimensional (IPM). Fuente: OPHI (2018). [Índice de Pobreza Multidimensional Global 2018:: El panorama más detallado hasta la fecha sobre los más pobres del mundo](#). Iniciativa sobre pobreza y desarrollo humano de Oxford (OPHI), Universidad de Oxford.

DIMENSIONES DE LA POBREZA	INDICADOR	ÁREA DE LOS ODS	PRIVADO SI...	PONDERACIÓN
Salud (1/3)	Nutrición ¹	ODS 2	Cualquier persona menor de 70 años para la que haya información nutricional está malnutrida.	1/6
	Mortalidad infantil ²	ODS 3	Cualquier niño que haya muerto en la familia en el período de cinco años anterior a la encuesta.	1/6
Educación (1/3)	Años de escolarización ¹	ODS 4	Ningún miembro del hogar de 10 años o más ha completado seis años de educación.	1/6
	Asistencia a la escuela ³	ODS 4	Cualquier niño en edad escolar* que no asiste a la escuela hasta la edad a la que completaría la clase (el año) 8.	1/6
Nivel de vida (1/3)	Combustible para cocinar	ODS 7	El hogar cocina con estiércol, cultivos agrícolas, arbustos, madera, carbón vegetal o carbón.	1/18
	Saneamiento ⁴	ODS 11	Las instalaciones de saneamiento del hogar no se han mejorado (de acuerdo con las directrices de los ODS) o se han mejorado pero se comparte con otros hogares.	1/18
	Agua potable ⁵	ODS 6	El hogar no tiene acceso a fuentes mejoradas de agua potable (según las directrices de los ODS) o el agua potable se encuentra al menos a 30 minutos a pie de la casa, ida y vuelta.	1/18
	Electricidad	ODS 7	El hogar no tiene electricidad.	1/18
	Viviend ⁶	ODS 11	El hogar tiene una vivienda inadecuada: el suelo es de materiales naturales o el techo o las paredes son de materiales rudimentarios.	1/18
	Activos	ODS 1	El hogar no posee más de uno de estos activos: radio, televisión, teléfono, computadora, carro tirado por animales, bicicleta, moto o refrigerador, y no posee un coche o camión.	1/18

1 Los adultos de 20 a 70 años se consideran desnutridos si su índice de masa corporal (IMC) es inferior a 18,5 m/kg. Esos 5 a 20 se identifican como desnutridos si su límite de IMC específico por edad está por debajo menos dos desviaciones estándar. Los niños menores de 5 años se consideran desnutridos si la puntuación z para su edad, ya sea para estatura (retraso del crecimiento) o peso (bajo peso), es inferior a dos desviaciones estándar de la mediana para la población de referencia. En la mayoría de los países, el IMC para la edad cubría a las personas de 15 a 19 años, ya que los datos antropométricos solo estaban disponibles para este grupo de edad; si se disponía de otros datos, se aplicaba el IMC para la edad a todas las personas mayores de 5 años y menores de 20 años.

2 La mortalidad infantil se basa en la información de mujeres de 15 a 49 años. Si falta esta información, y si el hombre en el hogar de 15-59 años de edad no informa de mortalidad infantil, ese registro se incluye.

3 Fuente de datos sobre la edad a la que los niños comienzan la escuela primaria obligatoria: Las EDS, MICS y los informes nacionales de los países, Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, base de datos del Instituto de Estadística, Cuadro 1. Educación (producto completo) [UIS: <http://data.uis.unesco.org/>].

4 Se considera que un hogar tiene acceso a saneamiento mejorado si tiene algún tipo de inodoro o letrina, o pozo o inodoro de compostaje mejorado ventilado, siempre que no se compartan. Si el informe de la encuesta utiliza otras definiciones de saneamiento «adecuado», damos seguimiento al informe de la encuesta.

5 Un hogar tiene acceso a agua potable limpia si la fuente de agua es de cualquiera de los siguientes tipos: agua entubada, grifo público, pozo o bomba, pozo protegido, manantial protegido o agua de lluvia, y está a 30 minutos a pie (ida y vuelta). Si el informe de la encuesta utiliza otras definiciones de agua potable «segura», damos seguimiento al informe de la encuesta.

6 Privado si el suelo está hecho de barro/arcilla/tierra, arena o estiércol; o si la vivienda no tiene techo ni paredes o si el techo o las paredes están contruidos con materiales naturales como caña, palma/troncos, tepe/barro, tierra, hierba/cañas, paja, bambú, palos o materiales rudimentarios como cartón, láminas de plástico/polietileno, bambú con barro/piedra con barro, piedras sueltas, adobe descubierto, madera no tratada/reutilizada, madera contrachapada, cartón, ladrillo sin cocer o lona/tienda de campaña.

personas que son multidimensionalmente pobres (que sufren privaciones en el 33% de los indicadores ponderados) y el número de privaciones con las que los hogares pobres suelen contender» [106]. La metodología detallada para el ensamblaje del IPM se puede encontrar en Alkire y Santos [104]. El IPM oscila entre 0 y 1, donde 0 es sin privación multidimensional y 1 es con privación multidimensional. Los cuestionarios de la EDS suelen reportar toda la información necesaria para crear el IPM, con algunas excepciones para las encuestas más antiguas. Utilizando los microdatos de la EDS, el índice puede construirse por diferentes subgrupos de población a nivel de hogares o clúster, así como a niveles más altos (Región, País). También puede descomponerse por dimensión para mostrar cómo la estructura de la pobreza difiere entre los diferentes grupos.

V.5.3. Índice de riqueza de las Encuestas demográficas y de salud (EDS)

El índice de riqueza de las Encuestas Demográficas y de Salud (EDS) es una medida compuesta del nivel de vida acumulado de un hogar, con base en los datos recopilados en el Cuestionario de Hogares de la EDS. Este cuestionario incluye preguntas relativas a la propiedad por parte del hogar de varios artículos de consumo tales como un televisor, una bicicleta, un automóvil; las características de la vivienda, tales como el material del suelo; tipo de fuente de agua potable; instalaciones sanitarias; y otras características relacionadas con la posición de riqueza. El Índice de riqueza de la EDS se genera mediante un procedimiento estadístico conocido como Análisis de Componentes Principales (ACP), donde los hogares particulares se colocan en una escala continua de riqueza relativa. Las puntuaciones de activos resultantes se estandarizan en relación con una distribución normal estándar con una media de cero y una desviación estándar de uno. Estos puntajes estandarizados se utilizan para crear los puntos de corte que definen los quintiles de riqueza como: Más bajo, segundo, medio, cuarto y más alto. Cada valor de un quintil puede reproducirse como un promedio ponderado de las razones urbanas/rurales (ponderadas por la proporción urbana/rural) o las razones masculina/femenina (ponderadas por la proporción masculina/femenina). El índice de riqueza se presenta en los Informes Finales de la EDS y en los productos de la encuesta como una característica general. Mientras que el índice de riqueza de la EDS se calcula utilizando las características del hogar, está disponible a nivel individual para hombres, mujeres y niños de hasta 5 años de edad dentro de cada hogar respectivo. Además, el Índice de riqueza se puede resumir a nivel de hogares-clúster (formato de puntos), primer nivel subnacional y nivel nacional (formato de polígono). La

información específica sobre el cálculo del Índice de riqueza para cada EDS, incluidas la sintaxis empleada y la carga factorial, se pueden encontrar en la Página de Construcción del Índice de Riqueza [107,108].

V.5.4. Social

V.5.4.1. Encuestas demográficas y de salud (EDS)

Desde 1984, el Programa de Encuestas demográficas y de salud (EDS) ha recogido, analizado y difundido datos sobre áreas como la fecundidad, planificación familiar, salud materno infantil, el género, el VIH/SIDA, la malaria y la nutrición a través de más de 400 encuestas en más de 90 países, principalmente en los PBMI [109]. La justificación para la construcción del IPM comparte la misma idea del IDH, siendo un puntaje compuesto de tres dimensiones: salud, educación y nivel de vida (Cuadro 13). El programa de EDS está financiado por la Agencia de Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID) con contribuciones de otros donantes y países individuales y la lleva a cabo ICF, Incorporated.

El EDS recopila y proporciona datos de encuestas aleatorizadas en clústeres por regiones subnacionales de primer orden (por ejemplo: a nivel provincial o estatal) y estratos urbanos/rurales. Las encuestas más recientes ahora proporcionan datos geocodificados para clústeres de hogares individuales. La disponibilidad de las coordenadas GPS para los clústeres EDS proporciona información posicional de alta resolución que se puede vincular con otras variables geoespaciales para su análisis posterior.

De las variables incluidas, seleccionamos la Tasa de alfabetización de adultos como una medida del desarrollo humano individual; este indicador también se utilizó en Naumann et al [49].

V.5.4.2. Indicadores del desarrollo mundial (IDM)

Los Indicadores del Desarrollo Mundial (IDM)²¹ son la principal colección de indicadores de desarrollo del Banco Mundial, compilados a partir de fuentes internacionales reconocidas oficialmente. Presenta los datos de desarrollo mundial más actuales y precisos disponibles, e incluye estimaciones nacionales, regionales y mundiales. En muchos casos, esto representa la mejor fuente de información disponible que los países pueden utilizar para derivar indicadores socioeconómicos o que se pueden utilizar como validación para otras fuentes de datos.

21 <https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators>

V.5.4.3. WorldPop

Véase la Sección V.3.1.6 para obtener una descripción completa de los datos de WorldPop. Además de la fortaleza de desglose por género ya mencionada, WorldPop también puede desglosarse por edad. La métrica que hemos seleccionado, «población entre 15 y 64 años de edad», es una medición de la población económicamente activa, o la población que contribuye al mercado laboral.

V.5.4.4. Indicadores mundiales de gobernanza

El proyecto Indicadores Mundiales de Gobernanza (WGI) reporta indicadores de gobernanza tanto agregados como individuales para más de 200 países y territorios durante el período 1996-2019, para seis dimensiones de gobernanza, incluida la estabilidad política y la ausencia de violencia, la eficacia del gobierno, la calidad regulatoria, voz y rendición de cuentas, Estado de derecho y el control de la corrupción. Estos indicadores agregados combinan las opiniones de muchas empresas, ciudadanos y expertos encuestados en países industriales y en desarrollo. Se basan en más de 30 fuentes de datos individuales generados por una variedad de institutos de encuestas, grupos de expertos, organizaciones no gubernamentales, organizaciones internacionales y empresas del sector privado. Disponible a nivel nacional, este producto es el único que pudimos localizar que representa este tipo de datos. Dado que la gobernanza nacional es intrínsecamente una métrica a nivel nacional, la necesidad de un nivel más bajo de resolución espacial no es necesaria. Hemos seleccionado el puntaje de efectividad del gobierno que se utilizó en Carro et al. [20].

V.5.4.5 OMS - Modelo de integración de datos para la calidad del aire (DIMAQ)

Se informa que el Modelo de Integración de Datos para la Calidad del Aire (DIMAQ) de la Organización Mundial de la Salud (OMS) está disponible libremente a una resolución espacial de 0,1 grados e incluye estimaciones de incertidumbre que no están disponibles en productos alternativos sobre la calidad del aire. La inclusión de datos cuadrículados en las estimaciones de la incertidumbre trae beneficios a los tomadores de decisiones debido a que el número de sensores basados en tierra varía ampliamente entre diferentes lugares, lo que hace de la incertidumbre algo variable y desigual, y las estimaciones son más confiables en algunas regiones que en otras. Sin embargo, el sitio web actualmente parece tener disponibles solo datos a nivel de país; a pesar de una investigación exhaustiva, no pudimos localizar los datos cuadrículados, clasificando este producto bajo en términos de «facilidad de acceso». Además, la frecuencia de actualización de este producto es incierta. Este habría sido nuestro producto recomendado para la calidad del aire debido a la inclusión de información de incertidumbre, pero debido a la dificultad de acceso y la incertidumbre de su actualización, recomendamos las cuadrículas mundiales anuales de PM 2.5 de NASA SEDAC, que se describen a continuación.

V.5.4.6. NASA SEDAC Cuadrículas mundiales anuales de PM 2.5

Los datos de las «Cuadrículas mundiales anuales de PM 2.5 de MODIS, MISR y profundidad óptica de aerosoles (POA) de SeaWiFS con GWR, v1 (1998 – 2016)» de NASA SEDAC están disponibles con una resolución espacial de 0,1 grados. No incluye estimaciones de incertidumbre como lo hacen los datos del DIMAQ de la OMS, pero es nuestro producto recomendado para la calidad del aire ya que se espera que se actualice periódicamente y es mucho más fácil de localizar y acceder en un formato espacialmente cuadrículado que DIMAQ. Los valores de los datos se indican en microgramos por metro cúbico de partículas finas a nivel del suelo (PM2.5).

V.5.5. Infraestructura

V.5.5.1. WASH

Establecida en 1990, la base de datos mundial del (Programa de Monitoreo Conjunto (JMP) de la Organización Mundial de la Salud/Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (OMS/UNICEF) incluye estimaciones de los avances en el agua potable, el saneamiento y la higiene de los hogares desde

Cuadro 14. Indicadores del Programa de Monitoreo Conjunto OMS/UNICEF utilizados para el monitoreo mundial de los niveles de servicio de WASH en los hogares.

TIPO DE SERVICIO	ESCALERAS DE SERVICIO DEL JMP	
<p>Agua potable</p> <p>1. Mejorado o no mejorado; agua superficial</p> <p>2. Servicios básicos y limitados</p> <p>3. Servicios gestionados de forma segura</p> <p>3a – accesibilidad</p> <p>3b – disponibilidad</p> <p>3c – calidad</p>	Gestionado de forma segura	Beber agua de una fuente mejorada que se encuentra en las instalaciones, disponible cuando sea necesario y libre de contaminación fecal y química prioritaria
	Básico	Beber agua de una fuente mejorada, siempre que el tiempo de recolección no sea superior a 30 minutos para un viaje de ida y vuelta, incluyendo colas
	Limitado	Beber agua de una fuente mejorada para la que el tiempo de recolección supera los 30 minutos para un viaje de ida y vuelta, incluidas las colas
	No mejorado	Beber agua de un pozo excavado sin protección o manantial sin protección
	Aguas superficiales	Beber agua directamente de un río, represa, lago, estanque, arroyo, canal o canal de riego
<p>Saneamiento</p> <p>1. Mejorado o no mejorado; defecación al aire libre</p> <p>2. Servicios básicos y limitados</p> <p>3. Servicios gestionados de forma segura</p> <p>3a – vaciado de las instalaciones in situ</p> <p>3b – tratamiento y eliminación de excretas de las instalaciones in situ</p> <p>3c – tratamiento de aguas residuales</p>	Gestionado de forma segura	Uso de instalaciones mejoradas que no se comparten con otros hogares y donde las excretas se eliminan in situ de forma segura o se transportan y tratan fuera del sitio
	Básico	Uso de instalaciones mejoradas que no se comparten con otros hogares
	Limitado	Uso de instalaciones mejoradas compartidas entre dos o más hogares
	Sin mejoras	Uso de letrinas de pozo sin losa o plataforma, letrinas colgantes o letrinas de balde
	Defecación al aire libre	Eliminación de heces humanas en campos, bosques, arbustos, cuerpos abiertos de agua, playas u otros espacios abiertos, o con residuos sólidos
<p>Higiene</p> <p>1. Con instalaciones o sin ellas</p> <p>2. Instalaciones de lavado de manos básicas y limitadas</p>	Básico	Disponibilidad de una instalación de lavado de manos con agua y jabón in situ
	Limitado	Disponibilidad de una instalación de lavado de manos sin agua y jabón in situ
	Sin instalaciones	No hay instalaciones de lavado de manos in situ
<p>Higiene menstrual</p> <p>1. Especial atención se presta a las necesidades de las mujeres y las niñas</p> <p>1a - lugar privado para lavado y cambio</p> <p>1b – uso de productos para la higiene menstrual</p> <p>1c – exclusión debida a la menstruación</p>		

2000, que se han calculado a partir de datos elaborados por las autoridades nacionales. El JMP monitorea el Agua, el Saneamiento y la Higiene (o WASH) a nivel de los hogares, además de las escuelas y los centros de atención en salud, y los informes se centran en las desigualdades en los niveles de servicio entre las regiones rurales y las urbanas, las regiones subnacionales y los subgrupos de población ricos y pobres, amén de otros grupos de población cuando los datos lo permiten. La base de datos del JMP incluye más de 5.000 fuentes de datos nacionales con información sobre WASH en los hogares, incluidas encuestas de hogares representativas a nivel nacional, censos e informes administrativos.

El JMP utiliza un método estandarizado de clasificación y estimación para facilitar las comparaciones entre países, regiones y el mundo (**Cuadro 14**). Las estimaciones comienzan con la identificación de los datos representativos a nivel nacional relacionados con el uso del agua y el saneamiento y la prevalencia de las instalaciones de lavado de manos en el hogar. Los datos administrativos y las encuestas de hogares se utilizan para incorporar datos de nivel de servicio. La armonización de los datos se apoya mediante el uso de un conjunto de preguntas básicas para agua, saneamiento e higiene²². A continuación, se emplea una regresión lineal simple para estimar las poblaciones que usan diferentes niveles de servicios empleando las escaleras del JMP.

V.5.5.2. Encuestas Demográficas y de Salud (EDS) acceso al agua potable

La principal fuente de agua potable para los miembros de cada hogar se recopila a través de las Encuestas Demográficas y de Salud y se clasifica como fuente mejorada y no mejorada siguiendo las directrices del Programa de Monitoreo Conjunto (JMP) de OMS/UNICEF sobre las directrices acerca de Agua y Saneamiento²³. Las fuentes de agua mejoradas incluyen agua entubada a la vivienda, patio o parcela; un grifo/toma de agua pública o un pozo; un pozo protegido o agua de manantial protegida; agua de lluvia; y agua embotellada. Las fuentes de agua no mejoradas incluyen pozos o manantiales sin protección, agua suministrada por camiones cisterna y agua superficial. Los indicadores pertinentes que representan las fuentes de agua potable están en un formato que puede ser desglosado por género y resumido en grupos georreferenciados de hogares contenidos en las primeras unidades administrativas subnacionales de cada país respectivo.

V.5.5.3. Mapa Global de Zonas de Regadío de la FAO

El Mapa Global de Zonas de Regadío (**Cuadro 4**) fue elaborado por la FAO y muestra la superficie del área equipada para regadío alrededor del 2005 en términos del porcentaje del área total en una cuadrícula ráster con una resolución de 5 minutos de arco (~10 km en el ecuador). Las capas adicionales del mapa muestran el porcentaje de la superficie equipada para regadío que se utilizó para el riego y los porcentajes de la superficie equipada para regadío que fueron regados con agua subterránea, aguas superficiales o fuentes de agua no convencionales.

V.6. Recomendaciones sobre productos para el monitoreo de la vulnerabilidad a la sequía

Uno de los mayores desafíos en el mapeo de la vulnerabilidad a la sequía de manera espacialmente explícita es la falta de datos cuadriculados. Algunos datos relevantes solo están disponibles a nivel de país o como polígonos subnacionales. Recomendamos que los productos elegidos para el índice de vulnerabilidad integral aborden múltiples facetas de la vulnerabilidad a la sequía, incluidos los efectos en las dimensiones ecológica, económica, de infraestructura y social. El **Cuadro 6** presenta un índice integral basado en estas dimensiones que define no solo los productos recomendados sino las métricas específicas que son relevantes dentro de estos productos y su efecto general sobre la vulnerabilidad a la sequía (es decir, cuando el valor para una métrica aumenta, ¿aumentará o disminuirá la vulnerabilidad?). Las métricas específicas y la dimensión que representan se definieron con base en una extensa revisión bibliográfica de la literatura sobre vulnerabilidad a la sequía como se describió anteriormente, con nuestras recomendaciones para los productos que representan nuestro mejor intento de localizar datos cuadriculados o subnacionales. Sin embargo, debido a que algunas métricas aún no se han mapeado a un nivel por debajo del nivel de país, también incluimos un número limitado de productos a nivel de país dentro de nuestras recomendaciones. Sugerimos que estos datos se prueben antes de aplicarse y también recomendamos que los países sustituyan los productos propuestos a nivel de país por datos subnacionales o cuadriculados si están disponibles. Además, recomendamos que los gobiernos, las organizaciones sin fines de lucro y el mundo académico desarrollen productos o métodos para derivar datos subnacionales o cuadriculados para variables clave que actualmente solo existen a nivel de país.

22 <https://washdata.org/report/jmp-2018-core-questions-household-surveys>

23 http://www.unwater.org/publication_tag/jmp/



Otro desafío en términos de los productos presentados es la capacidad de desglose por género. Dado que solo los datos de WorldPop, GPWv4, MPI y EDS tienen un componente desglosable por género, recomendamos que el avance hacia el OE3 aproveche estos productos cuando estén disponibles y sean relevantes para el análisis; además, se recomienda explorar métodos adicionales para el desglose por género de otros tipos de datos. Si usamos el agua como ejemplo, el desglose por género de los indicadores individuales puede utilizar el Juego de herramientas del Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos (WWAP) de la Organización de las Naciones

Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) sobre Datos del Agua Desglosados por Género, ya que, actualmente, la mayoría de los indicadores relacionados con el agua aquí presentados no existen en un formato que pueda ser desglosable por género [110].

VI. Recomendaciones sobre el monitoreo de los avances hacia el OE3

En esta sección analizamos las recomendaciones finales sobre la integración en Trends.Earth de los productos geoespacialmente explícitos a nivel global y a nivel específico para cada país sobre los indicadores climatológicos y socioeconómicos con incidencia en el OE3 y los impactos esperados asociados.

Es importante destacar que la mitigación de la sequía para reducir la vulnerabilidad y aumentar la resiliencia es una cuestión de seguridad nacional en muchos países afectados desproporcionadamente por el cambio climático y la variabilidad. Al reducir su vulnerabilidad a la sequía y la degradación de la tierra, los países están considerando e implementando cada vez más prácticas sostenibles de gestión de la tierra y del agua y tienen la oportunidad única de aprovechar y aprender de otros países miembros a través de redes como la Reseña Mundial de Enfoques y Tecnologías de la Conservación (WOCAT), un socio notable del proyecto que trabaja en colaboración con Trends.Earth.

Este informe proporciona un resumen de la revisión de los productos geoespaciales mundiales a disposición del público y las variables e índices pertinentes que permiten evaluar el Objetivo Estratégico (OE3) del Marco Estratégico 2018-2030 de la CNUCLD, y sus dos efectos previstos: *Se reduce la vulnerabilidad de los ecosistemas a la sequía, entre otras cosas, mediante prácticas de gestión sostenible de las tierras y el agua (SO3.1), y Aumenta la resiliencia de las comunidades a la sequía (SO3.2)*. Nuestra recomendación resumida general es que Trends.Earth apoya un marco integral para monitorear la vulnerabilidad a la sequía que se basa en la exposición de las poblaciones a la amenaza de sequía y captura factores de componentes sociales, de infraestructura, económicos y ecosistémicos. En la medida de lo posible y si se dispone de los datos, recomendamos que los productos utilizados sean contemporáneos, organizados espacialmente en cuadrículas (o a nivel subnacional) y disgregables por género, y que los indicadores seleccionados sean genéricos y válidos para cualquier región. Sin embargo, de conformidad con el marco de vulnerabilidades existente de la CNUCLD, no incluimos recomendaciones sobre la incorporación y cuantificación de la sensibilidad y la capacidad de adaptación, dos factores atenuantes importantes en la vulnerabilidad que afectan la resiliencia, considerados clave por el IPCC en sus informes y evaluaciones, y aconsejamos que la CNUCLD le dé una consideración ulterior en futuras iteraciones de su marco de vulnerabilidad.

VI.1. Efecto previsto 3.1: Se reduce la vulnerabilidad de los ecosistemas a la sequía, entre otras cosas, mediante prácticas de gestión sostenible de las tierras y el agua

La gestión sostenible de los recursos de tierra y agua para lograr una reducción de la vulnerabilidad de los ecosistemas y la población y aumentar la resiliencia a la sequía, la degradación de la tierra y la desertificación (DDTS) solo puede realizarse mediante esfuerzos de colaboración que, por un lado, estén respaldados por productos geoespaciales globales de libre acceso y, por otro lado, estén liderados por esfuerzos ascendentes impulsados por la comunidad para administrar y controlar los recursos y ecosistemas sensibles. Dado que la sequía es a menudo una ocurrencia natural, no se puede evitar por completo -aunque en algunos casos es posible reducir la degradación de la tierra y de los recursos hídricos asociados. Los países y las personas pueden limitar potencialmente la frecuencia y la severidad de la sequía con una gestión sostenible de la tierra que reduzca las emisiones de carbono, la deforestación, la pérdida de humedales y otros factores que impulsan el cambio climático. Sin embargo, en el contexto de las vías de consumo mundial, la gestión sostenible de la tierra para reducir las emisiones de carbono se queda corta, y desde la perspectiva de los países en desarrollo, esto no dibuja el panorama completo. En casos como este, el concepto de resiliencia y el aspecto de vulnerabilidad adoptado por el marco de la CNUCLD es muy útil para analizar los factores socioeconómicos subyacentes que hacen que una sociedad sea más o menos vulnerable a los efectos de la sequía.

A continuación analizamos algunas maneras en que se puede medir y monitorear la gestión integrada de la tierra y el agua, la comunidad y la vulnerabilidad de los ecosistemas.

VI.1.1. Vulnerabilidad de los ecosistemas (OE3-1)

La vulnerabilidad de los ecosistemas es un asunto de grave preocupación para los países de todo el mundo. Con el uso de nuestra propuesta de marco integrativo de vulnerabilidad que incorpora medidas comunes de gestión y calidad de la tierra (véase la Figura 8) junto con covariables adicionales sobre el uso y la protección de los ecosistemas, como la WDPA²⁴, podemos comenzar a idear las mediciones de vulnerabilidad ecosistémica. Especialmente cuando se combina con las mediciones de presión humana o densidad poblacional empleando, por ejemplo, WorldPop, así como sus cambios relativos a través del tiempo y el nivel relativo de sostenibilidad y protección que ofrece cada actividad de gestión, podemos comenzar a cuantificar, en un abordaje globalmente consistente y estandarizado, el nivel de resiliencia de los diferentes ecosistemas de importancia global. Un índice de amenaza de sequía como el SPI podría ser un punto de partida útil; explica el momento en que se calcula para múltiples momentos dados y puntos de intensidad con base en las categorías de amenaza de sequía del Indicador global de sequía (GDI). Posteriormente, el uso de un índice de vegetación como NDVI, el índice de vegetación mejorado de dos bandas (EVI2) o el Índice de vegetación ajustada al suelo modificado (MSAVI) y, especialmente, los cambios temporales a múltiples intervalos en dichos índices de vegetación (IV) proporcionarían una medición de la condición de la vegetación como sustituto de las prácticas de manejo de la tierra (los IV tendrán valores bajos donde la vegetación esté en mal estado o tenga baja densidad). Debido a que los IV evalúan los sistemas naturales y humanos, su uso tiene implicaciones para la gestión en sistemas agrícolas, bosques administrados, pastizales y otros sistemas ambientales humanos. El NDVI es una opción lógica ya que es ampliamente utilizado y destacado en Trends.Earth, y EVI2 muestra ser bastante prometedor para mejorar el monitoreo [102].

Además, la Eficiencia en el uso del agua (EUA) es útil para calibrar las series temporales de productividad vegetativa para separar los efectos del clima y las actividades de uso/gestión de la tierra [111]. La EUA se cuantifica como la relación entre la productividad primaria neta aérea (PPNA) y la evapotranspiración, lo que proporciona una medida de conocimiento sobre el funcionamiento ecológico de la superficie terrestre y determina cómo la PPNA puede responder, a través de los biomas, a las alteraciones en las condiciones hidrológicas inducidas por la sequía. La PPNA puede representarse por un IV como el NDVI o EVI; el EVI exhibe una mejor correlación con las series temporales de EUA.

VI.1.2. Gestión sostenible de la tierra y del agua (OE3-1)

VI.1.2.1. Gestión sostenible del agua (OE3-1)

Al abordar el objetivo de la gestión sostenible de los recursos hídricos, aparte de los productos discutidos detenidamente en la sección anterior de este informe, los productos adicionales pueden basarse en el uso de datos de agua terrestre detectados remotamente por el satélite GRACE de la NASA. Los productos derivados de GRACE se pueden utilizar para estudiar los niveles de los embalses, la disponibilidad de los recursos de aguas subterráneas o las tasas de agotamiento, y proporcionarían una primera aproximación para factores de sequía más complejos, ya que estarían más estrechamente vinculados a la sequía hidrológica y socioeconómica, que son más difíciles de cuantificar y para los que hay mucha menos disponibilidad de productos globales espacialmente explícitos. GRACE sería una buena opción, ya que también puede ayudar a evaluar la vulnerabilidad tanto de los ecosistemas como de la comunidad (a través de las pérdidas de agua terrestre debido a la sequía en humedales, embalses, etc.).

Además, muchos estudios han evaluado la gestión del agua utilizando productos derivados secundarios típicamente disponibles a nivel de país, incluyendo Carrão et al. [20]. El principal producto utilizado para esto fue Aquastat de la FAO, que proporciona un sistema mundial de información sobre los recursos hídricos, especialmente centrado en la gestión del agua para uso agrícola²⁵. Diversas variables disponibles en Aquastat abordan tanto la gestión de la tierra como la del agua. Los usuarios pueden optar por enfocarse en los indicadores respectivos dependiendo de su enfoque temático para reportar y la escala geográfica.

VI.1.2.2. Gestión sostenible de la tierra

La gestión sostenible de las tierras y los recursos hídricos asociados es una consideración importante para el proyecto Tools4LDN en general, como lo demuestra la inclusión de la Reseña Mundial de Enfoques y Tecnologías de la Conservación (WOCAT) como socio del proyecto. Lanzado en 1992, WOCAT ha estado encabezando esfuerzos para compilar, documentar, evaluar, compartir, diseminar y aplicar conocimientos sobre gestión sostenible de la tierra (SLM) con los usuarios de todo el mundo. Como tal, los juegos de herramientas, abordajes, productos y recursos disponibles en el

24 <https://www.protectedplanet.net/en/thematic-areas/wdpa>

25 <http://www.fao.org/aquastat/en/>

repositorio para socios de WOCAT representan un componente importante de la implementación, monitoreo y reporte de la SLM. Además, los abordajes conducidos por datos exploratorios disponibles a nivel mundial, tales como el Mapeo y evaluación de vulnerabilidad del Programa Mundial de Alimentos (VAM-PMA) [124] representan un importante punto de partida para evaluar el desempeño de las temporadas de precipitaciones actuales y pasadas, el tiempo y la intensidad de las condiciones más secas o más húmedas que las promedio, y su impacto sobre el estado de la vegetación, lo que permite establecer la evaluación del estado de línea base. Al igual que con el monitoreo de la vulnerabilidad ecosistémica, un índice de amenazas como el SPI sería un comienzo lógico, seguido de un índice de vegetación como el NDVI para monitorear la vitalidad cambiante de la vegetación y servir como sustituto para las prácticas de gestión de la tierra. Dado que el NDVI se puede utilizar tanto para sistemas naturales como humanos, es adecuado para monitorear la gestión de los sistemas agrícolas, bosques manejados, pastizales y otros sistemas ambientales humanos [102]. Debido a la correlación entre la sequía y la salud de los ecosistemas, al emplear buenas prácticas de gestión de la tierra como las que se discuten en detalle en la base de datos WOCAT, las comunidades pueden trabajar para reducir su vulnerabilidad a los efectos de la sequía sobre los ecosistemas locales. El monitoreo de los cambios permitiría a los usuarios determinar si un lugar o región determinado se ve menos afectado o no sufre ningún impacto de un evento de sequía después de la implementación de prácticas de gestión de la tierra, donde, antes de que se aplicasen las prácticas de gestión de la tierra, había efectos negativos.

VI.1.3. Un índice integrado del OE3-1

El índice de vulnerabilidad integrado que proponemos en este informe combina los conceptos de amenaza, que se define como la cuantificación espacio-temporal de las características climáticas y de sequía por clases de intensidad de la sequía, con exposición humana, definida como la proporción de las poblaciones humanas que son afectadas por la sequía, exposición ecosistémica, definida como la proporción de los ecosistemas afectados por la sequía por área, y vulnerabilidad, que se define como el grado al que las poblaciones y los sectores socioeconómicos se ven afectados por la exposición a la sequía (Figura 8). Por lo tanto, la vulnerabilidad se conceptualiza como la superposición de la amenaza y la exposición humana por población y género o la exposición ecosistémica por tipo y área, e integra componentes sociales/ecológicos/económicos/infraestructurales como se muestra en el Cuadro 6.

VI.2. Efecto previsto 3.2: Aumenta la resiliencia de las comunidades a la sequía

La combinación de las amenazas, la exposición y los diversos componentes ecológicos, socioeconómicos e infraestructurales descritos en nuestra Figura 8 pone de relieve los conocimientos de vanguardia sobre la vulnerabilidad de la población y los ecosistemas a la DDTS y propone un camino por seguir para una integración eficaz, como se ilustra copiosamente a lo largo del informe. En nuestro informe analizamos las ventajas y desventajas de utilizar productos globales geoespacialmente explícitos para analizar la proporción de tierras, ecosistemas y poblaciones (y sus desgloses aproximadas por género) que está expuesta a la sequía y la degradación de la tierra, así como los efectos de la sequía en los sectores ecológicos, sociales, económicos e infraestructurales de las economías de los países, a través de índices integrados que combinan productos sobre precipitación, temperatura y humedad del suelo con métricas sociodemográficas y de pobreza. Si bien los productos globales geoespaciales de libre acceso con resolución temporal y espacial relativamente confiable que se recomiendan en este informe son un importante paso adelante para mejorar la generación de informes sobre los OE3.1 y 3.2 dentro de un marco de vulnerabilidad integrador, también advertimos que el marco de vulnerabilidad propuesto que se presenta tiene limitaciones. Específicamente, hay bastante literatura que se enfoca en las dimensiones y la operacionalización de la vulnerabilidad y que se basan en conceptualizaciones de sensibilidad y capacidad adaptativa como métricas que modifican y mitigan la vulnerabilidad de una población o ecosistema a la DDTS. En este informe estamos condensando esos dos conceptos de sensibilidad y capacidad adaptativa en la vulnerabilidad, en consonancia con el trabajo de los socios de la CNUCLD que no los tienen explícitamente en cuenta.

Otro concepto importante que influye en la reducción de la vulnerabilidad de la comunidad y el aumento de la resiliencia es la sequía ecológica. La sequía ecológica sigue siendo un área emergente de investigación con gran parte del contexto centrado en los sistemas humanos y naturales acoplados (CHANS) y, por lo tanto, con vínculos explícitos a la vulnerabilidad, sensibilidad, capacidad de adaptación y exposición calculados a partir de productos espaciotemporalmente explícitos. También hay retroalimentación entre los ecosistemas degradados y la sequía, al igual que entre la degradación de la vegetación y los cambios en los regímenes de evapotranspiración, que pueden reducir inicialmente pero luego causar una mayor sequedad de aire y los suelos y llevar a condiciones más degradadas, períodos prolongados de sequía y un bucle de retroalimentación positiva

potencialmente ineludible de sequía y degradación. Las zonas con baja precipitación son particularmente vulnerables a la sequía y la desertificación, ya que la vegetación se convierte en un recurso no renovable, a diferencia de las zonas donde las altas precipitaciones conducen a una rápida regeneración vegetativa. Por lo tanto, las bajas precipitaciones y las altas temperaturas hacen que ciertas regiones geográficas sean más propensas a la degradación de la tierra. Incluso tasas ligeramente más altas de presión antropogénica y ganadera pueden llevar a una rápida degradación y posterior desertificación.

VI.2.1. OE3-2 Resiliencia comunitaria

A medida que las sequías siguen aumentando en frecuencia y severidad, la necesidad de comprender la vulnerabilidad de la comunidad y la resiliencia a la sequía no hace más que aumentar. Los científicos sociales han investigado ampliamente el cambio climático y los impactos de la sequía en las comunidades y los hogares, la capacidad de la comunidad de responder con éxito a los cambios ambientales (incluida la degradación) y los diversos niveles de vulnerabilidad resultantes, así como las respuestas reales a estos impactos que conducen a diferentes niveles de resiliencia comunitaria. Lo que queda menos claro es en qué medida y bajo qué circunstancias las diferentes combinaciones de comportamientos y actividades humanas, a través del conjunto de objetivos de los ODS, pueden proporcionar una resiliencia óptima, y en qué medida y en qué condiciones esta resiliencia comunitaria se retroalimenta a la ecología local para proporcionar una mayor resiliencia del ecosistema. Para aumentar nuestro entendimiento de los complejos procesos que subyacen a la respuesta comunitaria a los efectos de la sequía, es necesario incorporar productos de población cuadrículados desglosados por género de código abierto y variables socioeconómicas (como el IPM) cuando estén disponibles. Ya que la sequía es un fenómeno climático natural, no podemos eliminar o erradicar completamente sus efectos, pero podemos reducir la degradación de la tierra asociada y los impactos sobre los seres humanos y los ecosistemas mediante el desarrollo de nuestra comprensión de los productos e indicadores de vulnerabilidad socioeconómica y demográfica desglosados espacialmente que apoyan el desarrollo de vías de resiliencia. Luego se pueden asociar las distribuciones de población cuadrículadas con los resultados basados en ecosistemas para generar inferencias sobre los comportamientos y las actividades humanas para determinar en qué medida y en qué condiciones esta resiliencia influye en la gestión de la tierra. Al hacerlo, podemos limitar potencialmente el impacto de la sequía con una buena gestión de la tierra que reduce las emisiones de carbono, la deforestación, la pérdida de humedales y otros factores que impulsan el cambio climático.

Por último, con el fin de disminuir la vulnerabilidad de la comunidad a la sequía, en última instancia debemos abordar los «impulsores de la vulnerabilidad» o las causas de la vulnerabilidad relativa, así como la capacidad de afrontarla o la capacidad de las comunidades para adaptarse [112]. Muchos esfuerzos para el fomento de la resiliencia a nivel mundial han sugerido que los ajustes incrementales puntuales son insuficientes, y que la adaptación debería considerar transformaciones sistémicas que aborden estructuras y procesos profundamente arraigados que influyen en la vulnerabilidad social mediante la reestructuración en diversos contextos político-económicos y ambientales [112]. Para maximizar la resiliencia de la comunidad y crear planes de resiliencia duraderos, se debe desarrollar la capacidad y las habilidades local necesarias (véase, por ejemplo, Moser [29]) con base en el monitoreo de la sequía y la degradación para que puedan brindar información a las políticas y los programas.

VI.3. Limitaciones, atribuciones y futuras consideraciones

Las mediciones, índices y bases de datos que aquí se presentan tienen como propósito servir como mejores prácticas de monitoreo del OE3 usando Trends.Earth. Los criterios de selección son deliberadamente estrechos: cobertura global, resolución temporal suficiente para medir el cambio de manera significativa, escala espacial suficiente para medir patrones subnacionales, y la capacidad de desglose por género, entre otros. Estos criterios se orientan a incrementar la uniformidad y la normalización para los usuarios finales de todos los países miembros de las Naciones Unidas. Sin embargo, los datos disponibles que cumplen estos criterios son relativamente pocos, y este es especialmente el caso de los datos humanos. Por lo tanto, destacamos la importancia de que los países miembros y los usuarios finales revisen este informe en el contexto de la variabilidad en la disponibilidad de datos y la capacidad de procesar datos de un lugar a otro. Este informe se centra en lo que es posible a nivel mundial, pero no profundiza en lo que puede ser posible en lugares donde se dispone de datos más detallados relativos a las metas del OE3. Mientras analizamos algunos de estos casos en el informe, se debe hacer una evaluación caso por caso para el contexto y las necesidades de cada usuario final.

Dado que los datos son un reflejo imperfecto de la realidad, el contexto es importante para entender la posible atribución de la degradación y la sequía y sus efectos relativos en los ecosistemas y las personas. Tomemos el caso del OE3.1, gestión sostenible de la tierra. Si el análisis de la serie temporal de los IV sugiere un aumento de la biomasa o del verdor del paisaje a lo largo del tiempo acompañado de un cambio en la gestión

de la tierra, se puede deducir que la gestión de la tierra puede haber desempeñado un papel en la señal de reverdecimiento medida a través de la teledetección. Sin embargo, esta señal por sí sola puede no ser suficiente para determinar una atribución causal o correlativa entre el reverdecimiento y la gestión de la tierra. Habría que tener en cuenta otros factores, incluidas las tendencias en el SPI, el SSI y una comprensión sobre el terreno de la gestión de la tierra para sugerir la atribución, al menos cualitativamente. ¿Nuestro conocimiento de los sistemas humanos-terrestres sugeriría que el cambio dado en la gestión de la tierra aumentaría el reverdecimiento? De ser así, parecería más probable que el cambio de uso de la tierra fuera un impulsor de los IV de la salud del ecosistema. O, si el uso de la tierra pudiera anticipar el empardecimiento del paisaje, ¿por qué se observó lo contrario? Estos son los tipos de preguntas contextuales críticas que deben incluirse al evaluar la atribución relativa de los sistemas de gestión sobre el cambio (o estasis) con relación a la vulnerabilidad del ecosistema. En algunos lugares, el reverdecimiento de la vegetación en realidad es impulsado por la sequía (por ejemplo: la invasión de leñosas en las sabanas puede aparecer en los datos de teledetección como reverdecimiento, pero en realidad podría estar dando lugar a una menor productividad y una mayor vulnerabilidad para las personas y los ecosistemas ya que ninguno de los dos puede acceder a los recursos necesarios. Del mismo modo, un aumento del riego puede aumentar el NDVI durante un período de sequía - de hecho, esto ha sucedido en los últimos años en partes del norte de México. Actualmente no existe ninguna medición que muestre una relación uno a uno directa e inexpugnable entre todos los componentes complejos que comprenden la vulnerabilidad y la resiliencia humana y ecosistémica. El contexto es crítico.

Existe el potencial de mejorar el monitoreo de los Objetivos Estratégicos de la CNULD. Este informe se centra en cómo se puede mejorar el monitoreo en apoyo al OE3 sobre la base de datos globales de libre acceso. Existe la posibilidad de nuevas fuentes de datos y la mejora de las existentes. Las imágenes por teledetección han mejorado enormemente en las últimas dos décadas, y probablemente permitirán una granularidad espacial que habría parecido inimaginable hace unos años, pues actualmente ya hay datos de teledetección de resolución considerablemente alta disponibles comercialmente. A medida que la tecnología avanza, los costosos productos de vanguardia de hoy serán los datos disponibles al público de mañana. Pero también existe la oportunidad de innovar, aprovechando los productos disponibles al público como los que se presentan aquí. Diferentes métodos estadísticos espaciales permiten la conversión de los datos de resolución espacial relativamente baja a datos de mayor resolución, con rangos de probabilidad de valor asociados a datos específicos de ubicación. A pesar de los continuos desafíos de la escasez de datos en algunas zonas rurales remotas dentro de los países, los esfuerzos futuros podrían desarrollar y difundir de manera útil una herramienta, junto con las mejores prácticas para su uso, que mejore la cobertura espacial de algunos de los datos aquí presentados.



VII. Referencias

1. UNCCD - United Nations Convention to Combat Desertification *Outcomes of the work of the Committee on Science and Technology on a monitoring framework for the strategic objective on drought*; New Delhi, India, 2019; pp. 1–15;.
2. UNCCD - United Nations Convention to Combat Desertification *Global Land Outlook First Edition*; Bonn, Germany, 2017;.
3. Le, Q.B.; Mirzabaev, A.; Nkonya, E.; van Lynden, G.W.J. The Extent and Cost of Land Degradation. In *Land Degradation and the Sustainable Development Goals: Threats and Potential Remedies*; CIAT Publication No. 440; Nairobi, Kenya, 2017.
4. *Climate change 2014: synthesis report*; IPCC - International Panel on Climate Change, Ed.; Intergovernmental Panel on Climate Change: Geneva, Switzerland, 2014; ISBN 978-92-9169-143-2.
5. Sims, N.; Green, C.; Newnham, G.; England, J.; Held, A.; others *Good Practice Guidance SDG Indicator 15.3.1*; United Nations Convention to Combat Desertification, 2017; p. 115;.
6. UNCCD - United Nations Convention to Combat Desertification *ICCD_CRIC(17)_5-1900946E.pdf*; Georgetown, Guyana, 2019; pp. 1–15;.
7. Kuriakose, A.; Bizikova, L.; Bachofen, C. Assessing vulnerability and adaptive capacity to climate risks: Methods for investigation at local and national levels. *Soc. Dev. Pap.* **2009**.
8. Yohe, G.; Tol, R.S.J. Indicators for social and economic coping capacityF moving toward a working definition of adaptive capacity. *Glob. Environ. Change* **2002**, 16.
9. Turner, B.L.; Kasperson, R.E.; Matson, P.A.; McCarthy, J.J.; Corell, R.W.; Christensen, L.; Eckley, N.; Kasperson, J.X.; Luers, A.; Martello, M.L.; et al. A framework for vulnerability analysis in sustainability science. *Proc. Natl. Acad. Sci.* **2003**, 100, 8074–8079, doi:10.1073/pnas.1231335100.
10. GIZ - Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit Risk Supplement to the Vulnerability Sourcebook 2017.
11. Gaughan, A.; Stevens, F.; Pricope, N.; Hartter, J.; Cassidy, L.; Salerno, J. Operationalizing Vulnerability: Land System Dynamics in a Transfrontier Conservation Area. *Land* **2019**, 8, 111, doi:10.3390/land8070111.
12. Pricope, N.; Pardo-Rodriguez, L.; López-Carr, D.; Williams, E.; Zorich, L. Geographic Vulnerability to Climate Change 2018, 9780199874002–0181.
13. UNISDR *Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015 - 2030*; Sendai, Japan, 2015; p. 37;.
14. IPCC - International Panel on Climate Change *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation: Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*; Cambridge University Press: Cambridge, UK, and New York, USA, 2012; p. 582;.
15. Adger, W.N.; Kelly, P.M.; Winkels, A.; Huy, L.Q.; Locke, C. Migration, Remittances, Livelihood Trajectories, and Social Resilience. *AMBIO J. Hum. Environ.* **2002**, 31, 358–366, doi:10.1579/0044-7447-31.4.358.
16. Karavitis, C.A.; Tsesmelis, D.E.; Skondras, N.A.; Stamatakos, D.; Alexandris, S.; Fassouli, V.; Vasilakou, C.G.; Oikonomou, P.D.; Gregorič, G.; Grigg, N.S.; et al. Linking drought characteristics to impacts on a spatial and temporal scale. *Water Policy* **2014**, 16, 1172–1197, doi:10.2166/wp.2014.205.
17. Weißhuhn, P.; Müller, F.; Wiggering, H. Ecosystem Vulnerability Review: Proposal of an Interdisciplinary Ecosystem Assessment Approach. *Environ. Manage.* **2018**, 61, 904–915, doi:10.1007/s00267-018-1023-8.
18. Wilhite, D.A.; Glantz, M.H. Understanding: the Drought Phenomenon: The Role of Definitions. *Water Int.* **1985**, 10, 111–120, doi:10.1080/02508068508686328.

19. Wilhite, D.A.; Sivakumar, M.V.K.; Pulwarty, R. Managing drought risk in a changing climate: The role of national drought policy. *Weather Clim. Extrem.* **2014**, *3*, 4–13, doi:10.1016/j.wace.2014.01.002.
20. Carrão, H.; Naumann, G.; Barbosa, P. Mapping global patterns of drought risk: An empirical framework based on sub-national estimates of hazard, exposure and vulnerability. *Glob. Environ. Change* **2016**, *39*, 108–124, doi:10.1016/j.gloenvcha.2016.04.012.
21. Wilhite, D.A.; Svoboda, M.D.; Hayes, M.J. Understanding the complex impacts of drought: A key to enhancing drought mitigation and preparedness. *Water Resour. Manag.* **2007**, *21*, 763–774, doi:10.1007/s11269-006-9076-5.
22. Marvel, K.; Cook, B.I.; Bonfils, C.J.W.; Durack, P.J.; Smerdon, J.E.; Williams, A.P. Twentieth-century hydroclimate changes consistent with human influence. *Nature* **2019**, *569*, 59–65, doi:10.1038/s41586-019-1149-8.
23. Mishra, A.K.; Singh, V.P. A review of drought concepts. *J. Hydrol.* **2010**, *391*, 202–216, doi:10.1016/j.jhydrol.2010.07.012.
24. McKee, T.B.; Doesken, N.J.; Kleist, J. The relationship of drought frequency and different timescales.; Anaheim, CA, USA, 1993; p. 6.
25. McKee, T.B.; Doesken, N.J.; Kleist, J. Drought monitoring with different timescales.; American Meteorological Society: Dallas, TX, USA, 1995; pp. 233–236.
26. Guttman, N.B. Accepting the Standardized Precipitation Index: a Calculation Algorithm. *JAWRA J. Am. Water Resour. Assoc.* **1999**, *35*, 311–322, doi:10.1111/j.1752-1688.1999.tb03592.x.
27. Hayes, M.; Svoboda, M.; Wall, N.; Widhalm, M. The Lincoln Declaration on Drought Indices: Universal Meteorological Drought Index Recommended. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* **2011**, *92*, 485–488, doi:10.1175/2010BAMS3103.1.
28. Crausbay, S.D.; Ramirez, A.R.; Carter, S.L.; Cross, M.S.; Hall, K.R.; Bathke, D.J.; Betancourt, J.L.; Colt, S.; Cravens, A.E.; Dalton, M.S.; et al. Defining Ecological Drought for the Twenty-First Century. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* **2017**, *98*, 2543–2550, doi:10.1175/BAMS-D-16-0292.1.
29. AghaKouchak, A.; Farahmand, A.; Melton, F.S.; Teixeira, J.; Anderson, M.C.; Wardlow, B.D.; Hain, C.R. Remote sensing of drought: Progress, challenges and opportunities: REMOTE SENSING OF DROUGHT. *Rev. Geophys.* **2015**, *53*, 452–480, doi:10.1002/2014RG000456.
30. Lai, C.; Zhong, R.; Wang, Z.; Wu, X.; Chen, X.; Wang, P.; Lian, Y. Monitoring hydrological drought using long-term satellite-based precipitation data. *Sci. Total Environ.* **2019**, *649*, 1198–1208, doi:10.1016/j.scitotenv.2018.08.245.
31. Zhao, G.; Gao, H. Towards Global Hydrological Drought Monitoring Using Remotely Sensed Reservoir Surface Area. *Geophys. Res. Lett.* **2019**, *46*, 13027–13035, doi:10.1029/2019GL085345.
32. Blauhut, V.; Stahl, K.; Stagge, J.H.; Tallaksen, L.M.; De Stefano, L.; Vogt, J. Estimating drought risk across Europe from reported drought impacts, drought indices, and vulnerability factors. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* **2016**, *20*, 2779–2800, doi:10.5194/hess-20-2779-2016.
33. Tong, Y.-F.; Cheng, Y.-C. Warnings on Tropical Cyclone for WMO Global Multi-Hazard Alert System. *Trop. Cyclone Res. Rev.* **2018**, *7*, 7, doi:10.6057/2018TCRR03.06.
34. Svoboda, M.; Fuchs, B.A.; Integrated Drought Management Programme; World Meteorological Organization; Global Water Partnership; University of Nebraska--Lincoln; National Drought Mitigation Center *Handbook of drought indicators and indices*; 2016; ISBN 978-92-63-11173-9.
35. Laurent-Lucchetti, J.; Vischel, T.; Vischel, T.; Vollenwieder, X. *Droughts, Land Degradation and Migration*; United Nations Convention to Combat Desertification, 2019; p. 59;.

36. Sazib, N.; Mladenova, I.; Bolten, J. Leveraging the Google Earth Engine for Drought Assessment Using Global Soil Moisture Data. *Remote Sens.* **2018**, *10*, 1265, doi:10.3390/rs10081265.
37. Sepulcre-Canto, G.; Horion, S.; Singleton, A.; Carrao, H.; Vogt, J. Development of a Combined Drought Indicator to detect agricultural drought in Europe. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* **2012**, *12*, 3519–3531, doi:10.5194/nhess-12-3519-2012.
38. Palmer, W.C. *Meteorological Drought*; U.S. Department of Commerce, Office of Climatology: Washington, D.C., 1965; p. 65;.
39. Hao, Z.; AghaKouchak, A. Multivariate Standardized Drought Index: A parametric multi-index model. *Adv. Water Resour.* **2013**, *57*, 12–18, doi:10.1016/j.advwatres.2013.03.009.
40. Hao, Z.; AghaKouchak, A.; Nakhjiri, N.; Farahmand, A. Global integrated drought monitoring and prediction system. *Sci. Data* **2014**, *1*, 140001, doi:10.1038/sdata.2014.1.
41. Golian, S.; Javadian, M.; Behrang, A. On the use of satellite, gauge, and reanalysis precipitation products for drought studies. *Environ. Res. Lett.* **2019**, *14*, 075005, doi:10.1088/1748-9326/ab2203.
42. Gruber, A.; Scanlon, T. Evolution of the ESA CCI Soil Moisture climate data records and their underlying merging methodology. **2019**, *23*.
43. Prüss-Ustün, A.; Wolf, J.; Corvalán, C.; Neville, T.; Bos, R.; Neira, M. Diseases due to unhealthy environments: an updated estimate of the global burden of disease attributable to environmental determinants of health. *J. Public Health* **2017**, *39*, 464–475, doi:10.1093/pubmed/fdw085.
44. WHO Ambient air pollution: a global assessment of exposure and burden of disease 2016.
45. González-Toril, E.; Osuna, S.; Viúdez-Moreiras, D.; Navarro-Cid, I.; Toro, S.D. del; Sor, S.; Bardera, R.; Puente-Sánchez, F.; de Diego-Castilla, G.; Aguilera, Á. Impacts of Saharan Dust Intrusions on Bacterial Communities of the Low Troposphere. *Sci. Rep.* **2020**, *10*, 6837, doi:10.1038/s41598-020-63797-9.
46. Hu, H.; Landrigan, P.J.; Fuller, R.; Lim, S.S.; Murray, C.J.L. New Initiative aims at expanding Global Burden of Disease estimates for pollution and climate. *Lancet Planet. Health* **2018**, *2*, e415–e416, doi:10.1016/S2542-5196(18)30189-X.
47. Lalyer, C.R.; von Gleich, A.; Giese, B. Vulnerability Analysis of Ecological Systems. In *Gene Drives at Tipping Points*; von Gleich, A., Schröder, W., Eds.; Springer International Publishing: Cham, 2020; pp. 57–77 ISBN 978-3-030-38933-8.
48. Ellis, E.C.; Ramankutty, N. Putting people in the map: anthropogenic biomes of the world. *Front. Ecol. Environ.* **2008**, *6*, 439–447, doi:10.1890/070062.
49. Naumann, G.; Barbosa, P.; Garrote, L.; Iglesias, A.; Vogt, J. Exploring drought vulnerability in Africa: an indicator based analysis to be used in early warning systems. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* **2014**, *18*, 1591–1604, doi:10.5194/hess-18-1591-2014.
50. World Meteorological Organization *Standardized precipitation index user guide.*; 2012; ISBN 978-92-63-11091-6.
51. Keyantash, J.; National Center for Atmospheric Research Staff (Eds The Climate Data Guide: Standardized Precipitation Index (SPI) Available online: <https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/standardized-precipitation-index-spi> (accessed on Sep 6, 2020).
52. Russo, S.; Dosio, A.; Sterl, A.; Barbosa, P.; Vogt, J. Projection of occurrence of extreme dry-wet years and seasons in Europe with stationary and nonstationary Standardized Precipitation Indices: WETNESS AND DROUGHT IN EUROPE. *J. Geophys. Res. Atmospheres* **2013**, *118*, 7628–7639, doi:10.1002/jgrd.50571.
53. Li, J.Z.; Wang, Y.X.; Li, S.F.; Hu, R. A Nonstationary Standardized Precipitation Index incorporating climate indices as covariates. *J. Geophys. Res. Atmospheres* **2015**, *120*, doi:10.1002/2015JD023920.
54. Farahmand, A.; AghaKouchak, A. A generalized framework for deriving nonparametric standardized drought indicators. *Adv. Water Resour.* **2015**, *76*, 140–145, doi:10.1016/j.advwatres.2014.11.012.

55. Vicente-Serrano, S.M.; Beguería, S.; López-Moreno, J.I. A Multiscalar Drought Index Sensitive to Global Warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index. *J. Clim.* **2010**, *23*, 1696–1718, doi:10.1175/2009JCLI2909.1.
56. Thornthwaite, C.W. An Approach toward a Rational Classification of Climate. *Geogr. Rev.* **1948**, *38*, 55–94.
57. Bai, X.; Shen, W.; Wu, X.; Wang, P. Applicability of long-term satellite-based precipitation products for drought indices considering global warming. *J. Environ. Manage.* **2020**, *255*, 109846, doi:10.1016/j.jenvman.2019.109846.
58. Modanesi, S.; Massari, C.; Camici, S.; Brocca, L.; Amarnath, G. Do Satellite Surface Soil Moisture Observations Better Retain Information About Crop-Yield Variability in Drought Conditions? *Water Resour. Res.* **2020**, *56*, doi:10.1029/2019WR025855.
59. Zhang, X.; Obringer, R.; Wei, C.; Chen, N.; Niyogi, D. Droughts in India from 1981 to 2013 and Implications to Wheat Production. *Sci. Rep.* **2017**, *7*, 44552, doi:10.1038/srep44552.
60. Vicente-Serrano, S.M.; Beguería, S.; Lorenzo-Lacruz, J.; Camarero, J.J.; López-Moreno, J.I.; Azorin-Molina, C.; Revuelto, J.; Morán-Tejeda, E.; Sanchez-Lorenzo, A. Performance of Drought Indices for Ecological, Agricultural, and Hydrological Applications. *Earth Interact.* **2012**, *16*, 1–27, doi:10.1175/2012EI000434.1.
61. UNISDR *Living with Risk: A Global Review of Disaster Reduction Initiatives.*; United Nations International Strategy for Disaster Reduction (UNISDR): Geneva, Switzerland, 2004;
62. Tsesmelis, D.E.; Oikonomou, P.D.; Vasilakou, C.G.; Skondras, N.A.; Fassouli, V.; Alexandris, S.G.; Grigg, N.S.; Karavitis, C.A. Assessing structural uncertainty caused by different weighting methods on the Standardized Drought Vulnerability Index (SDVI). *Stoch. Environ. Res. Risk Assess.* **2019**, *33*, 515–533, doi:10.1007/s00477-019-01648-4.
63. Oikonomou, P.D.; Tsesmelis, D.E.; Waskom, R.M.; Grigg, N.S.; Karavitis, C.A. Enhancing the standardized drought vulnerability index by integrating spatiotemporal information from satellite and in situ data. *J. Hydrol.* **2019**, *569*, 265–277, doi:10.1016/j.jhydrol.2018.11.058.
64. Funk, C.; Peterson, P.; Peterson, S.; Shukla, S.; Davenport, F.; Michaelsen, J.; Knapp, K.R.; Landsfeld, M.; Husak, G.; Harrison, L.; et al. A High-Resolution 1983–2016 Tmax Climate Data Record Based on Infrared Temperatures and Stations by the Climate Hazard Center. *J. Clim.* **2019**, *32*, 5639–5658, doi:10.1175/JCLI-D-18-0698.1.
65. Wu, H.; Hayes, M.J.; Wilhite, D.A.; Svoboda, M.D. The effect of the length of record on the standardized precipitation index calculation. *Int. J. Climatol.* **2005**, *25*, 505–520, doi:10.1002/joc.1142.
66. Funk, C.; Peterson, P.; Landsfeld, M.; Pedreros, D.; Verdin, J.; Shukla, S.; Husak, G.; Rowland, J.; Harrison, L.; Hoell, A.; et al. The climate hazards infrared precipitation with stations—a new environmental record for monitoring extremes. *Sci. Data* **2015**, *2*, 150066, doi:10.1038/sdata.2015.66.
67. Toté, C.; Patricio, D.; Boogaard, H.; van der Wijngaart, R.; Tarnavsky, E.; Funk, C. Evaluation of Satellite Rainfall Estimates for Drought and Flood Monitoring in Mozambique. *Remote Sens.* **2015**, *7*, 1758–1776, doi:10.3390/rs70201758.
68. Bayissa, Y.; Tadesse, T.; Demisse, G.; Shiferaw, A. Evaluation of Satellite-Based Rainfall Estimates and Application to Monitor Meteorological Drought for the Upper Blue Nile Basin, Ethiopia. *Remote Sens.* **2017**, *9*, 669, doi:10.3390/rs9070669.
69. Gebremicael, T.G.; Mohamed, Y.A.; Zaag, P. van der; Gebremedhin, A.; Gebremeskel, G.; Yazew, E.; Kifle, M. Evaluation of multiple satellite rainfall products over the rugged topography of the Tekeze-Atbara basin in Ethiopia. *Int. J. Remote Sens.* **2019**, *40*, 4326–4345, doi:10.1080/01431161.2018.1562585.
70. Xie, P.; Arkin, P.A. Global Precipitation: A 17-Year Monthly Analysis Based on Gauge Observations, Satellite Estimates, and Numerical Model Outputs. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* **20**.

71. Almazroui, M. Assessment of meteorological droughts over Saudi Arabia using surface rainfall observations during the period 1978–2017. *Arab. J. Geosci.* **2019**, *12*, 694, doi:10.1007/s12517-019-4866-2.
72. Arkin, P.; Xie, P.; NCARS staff The Climate Data Guide: CMAP: CPC Merged Analysis of Precipitation Available online: <https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/cmap-cpc-merged-analysis-precipitation>. (accessed on Aug 6, 2020).
73. Huffman, G.J.; Adler, R.F.; Arkin, P.; Chang, A.; Ferraro, R.; Gruber, A.; Janowiak, J.; McNab, A.; Rudolf, B.; Schneider, U. The Global Precipitation Climatology Project (GPCP) Combined Precipitation Dataset. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* **1997**, *78*, 17.
74. Ashouri, H.; Hsu, K.-L.; Sorooshian, S.; Braithwaite, D.K.; Knapp, K.R.; Cecil, L.D.; Nelson, B.R.; Prat, O.P. PERSIANN-CDR: Daily Precipitation Climate Data Record from Multisatellite Observations for Hydrological and Climate Studies. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* **2015**, *96*, 69–83, doi:10.1175/BAMS-D-13-00068.1.
75. Guo, H.; Bao, A.; Liu, T.; Chen, S.; Ndayisaba, F. Evaluation of PERSIANN-CDR for Meteorological Drought Monitoring over China. *Remote Sens.* **2016**, *8*, 379, doi:10.3390/rs8050379.
76. Katirai-Boroujerdy, P.-S.; Ashouri, H.; Hsu, K.; Sorooshian, S. Trends of precipitation extreme indices over a subtropical semi-arid area using PERSIANN-CDR. *Theor. Appl. Climatol.* **2017**, *130*, 249–260, doi:10.1007/s00704-016-1884-9.
77. Luchetti, N.T.; Sutton, J.R.P.; Wright, E.E.; Kruk, M.C.; Marra, J.J. When El Niño Rages: How Satellite Data Can Help Water-Stressed Islands. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* **2016**, *97*, 2249–2255, doi:10.1175/BAMS-D-15-00219.1.
78. Rohde, R.; Muller, R.; Jacobsen, R.; Muller, E.; Wickham, C.; Perlmutter, S.; Rosenfel, A.; Wurtele, J.; Groom, D.; Wickham, C. A New Estimate of the Average Earth Surface Land Temperature Spanning 1753 to 2011. *Geoinformatics Geostat. Overv.* **2013**, *01*, doi:10.4172/2327-4581.1000101.
79. Rohde, R.; Muller, R.; Jacobsen, R.; Perlmutter, S.; Mosher, S. Berkeley Earth Temperature Averaging Process. *Geoinformatics Geostat. Overv.* **2013**, *01*, doi:10.4172/2327-4581.1000103.
80. Way, R.G.; Oliva, F.; Viau, A.E. Underestimated warming of northern Canada in the Berkeley Earth temperature product: UNDERESTIMATED WARMING IN BETPELEY EARTH. *Int. J. Climatol.* **2017**, *37*, 1746–1757, doi:10.1002/joc.4808.
81. Piper, S.; Stewart, E.F. A gridded global dataset of daily temperature and precipitation for terrestrial biospheric modeling. *Glob. Biogeochem. Cycles* **1996**, *10*, 757–782.
82. Shi, W. Global Daily Surface Air Temperature Analyses. 8.
83. Nashwan, M.S.; Shahid, S.; Chung, E.-S. Development of high-resolution daily gridded temperature datasets for the central north region of Egypt. *Sci. Data* **2019**, *6*, 138, doi:10.1038/s41597-019-0144-0.
84. Yang, Z.; Zhang, J. Dataset of high temperature extremes over the major land areas of the Belt and Road for 1979-2018. *Big Earth Data* **2020**, *4*, 128–141, doi:10.1080/20964471.2020.1718993.
85. Jones, P.D.; New, M.; Parker, D.E.; Martin, S.; Rigor, I.G. Surface air temperature and its changes over the past 150 years. *Rev. Geophys.* **1999**, *37*, 173–199, doi:10.1029/1999RG900002.
86. Osborn, T.J.; Jones, P.D. The CRUTEM4 land-surface air temperature dataset: construction, previous versions and dissemination via Google Earth. *Earth Syst. Sci. Data* **2014**, *6*, 61–68, doi:10.5194/essd-6-61-2014.

87. Morice, C.P.; Kennedy, J.J.; Rayner, N.A.; Jones, P.D. Quantifying uncertainties in global and regional temperature change using an ensemble of observational estimates: The HadCRUT4 dataset: THE HADCRUT4 DATASET. *J. Geophys. Res. Atmospheres* **2012**, *117*, n/a-n/a, doi:10.1029/2011JD017187.
88. Hansen, J.; Ruedy, R.; Sato, M.; Lo, K. Global Surface Temperature Change. *Rev. Geophys.* **2010**, *48*, RG4004, doi:10.1029/2010RG000345.
89. Lenssen, N.J.L.; Schmidt, G.A.; Hansen, J.E.; Menne, M.J.; Persin, A.; Ruedy, R.; Zys, D. Improvements in the GISTEMP Uncertainty Model. *J. Geophys. Res. Atmospheres* **2019**, *124*, 6307–6326, doi:10.1029/2018JD029522.
90. Smith, T.M.; Reynolds, R.W.; Peterson, T.C.; Lawrimore, J. Improvements to NOAA's Historical Merged Land–Ocean Surface Temperature Analysis (1880–2006). *J. Clim.* **2008**, *21*, 14.
91. Vose, R.S.; Arndt, D.; Banzon, V.F.; Easterling, D.R.; Gleason, B.; Huang, B.; Kearns, E.; Lawrimore, J.H.; Menne, M.J.; Peterson, T.C.; et al. NOAA's Merged Land–Ocean Surface Temperature Analysis. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* **2012**, *93*, 1677–1685, doi:10.1175/BAMS-D-11-00241.1.
92. Albergel, C.; de Rosnay, P.; Balsamo, G.; Isaksen, L.; Muñoz-Sabater, J. Soil Moisture Analyses at ECMWF: Evaluation Using Global Ground-Based In Situ Observations. *J. Hydrometeorol.* **2012**, *13*, 1442–1460, doi:10.1175/JHM-D-11-0107.1.
93. Li, M.; Wu, P.; Ma, Z. Comprehensive evaluation of soil moisture and soil temperature from third-generation atmospheric and land reanalysis datasets. *Int. J. Climatol.* **2020**, joc.6549, doi:10.1002/joc.6549.
94. Nicolai-Shaw, N.; Zscheischler, J.; Hirschi, M.; Gudmundsson, L.; Seneviratne, S.I. A drought event composite analysis using satellite remote-sensing based soil moisture. *Remote Sens. Environ.* **2017**, *203*, 216–225, doi:10.1016/j.rse.2017.06.014.
95. Gelaro, R.; McCarty, W.; Suárez, M.J.; Todling, R.; Molod, A.; Takacs, L.; Randles, C.A.; Darmenov, A.; Bosilovich, M.G.; Reichle, R.; et al. The Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications, Version 2 (MERRA-2). *J. Clim.* **2017**, *30*, 5419–5454, doi:10.1175/JCLI-D-16-0758.1.
96. Doxsey-Whitfield, E.; MacManus, K.; Adamo, S.B.; Pistoletti, L.; Squires, J.; Borkovska, O.; Baptista, S.R. Taking Advantage of the Improved Availability of Census Data: A First Look at the Gridded Population of the World, Version 4. *Pap. Appl. Geogr.* **2015**, *1*, 226–234, doi:10.1080/23754931.2015.1014272.
97. Potapov, P.; Yaroshenko, A.; Turubanova, S.; Dubinin, M.; Laestadius, L.; Thies, C.; Aksenov, D.; Egorov, A.; Yesipova, Y.; Glushkov, I.; et al. Mapping the World's Intact Forest Landscapes by Remote Sensing. *Ecol. Soc.* **2008**, *13*, doi:10.5751/ES-02670-130251.
98. Zhuravleva, I.; Turubanova, S.; Potapov, P.; Hansen, M.; Tyukavina, A.; Minnemeyer, S.; Laporte, N.; Goetz, S.; Verbelen, F.; Thies, C. Satellite-based primary forest degradation assessment in the Democratic Republic of the Congo, 2000–2010. *Environ. Res. Lett.* **2013**, *8*, 024034, doi:10.1088/1748-9326/8/2/024034.
99. Hansen, M.C.; Potapov, P.V.; Moore, R.; Hancher, M.; Turubanova, S.A.; Tyukavina, A.; Thau, D.; Stehman, S.V.; Goetz, S.J.; Loveland, T.R.; et al. High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change. *Science* **2013**, *342*, 850–853, doi:10.1126/science.1244693.
100. Nieves, J.J.; Sorichetta, A.; Linard, C.; Bondarenko, M.; Steele, J.E.; Stevens, F.R.; Gaughan, A.E.; Carioli, A.; Clarke, D.J.; Esch, T.; et al. Annually modelling built-settlements between remotely-sensed observations using relative changes in subnational populations and lights at night. *Comput. Environ. Urban Syst.* **2020**, *80*, 101444, doi:10.1016/j.compenurbysys.2019.101444.
101. Fehri, R.; Khelifi, S.; Vanclooster, M. Disaggregating SDG-6 water stress indicator at different spatial and temporal scales in Tunisia. *Sci. Total Environ.* **2019**, *694*, 133766, doi:10.1016/j.scitotenv.2019.133766.

102. Daldegan, G.; Gonzalez-Roglich, M.; Noon, M.; Zvoleff, A. *A review of publicly available geospatial datasets and indicators in support of land degradation monitoring*; Tools4LDN project roadmap for Trends. Earth enhancements; 2020; pp. 1–45;.
103. Alkire, S.; Foster, J. *Counting and Multidimensional Poverty Measurement*; University of Oxford: Oxford, England, 2007; p. 34;.
104. Alkire, S.; Santos, M.E. *Acute Multidimensional Poverty: A New Index for Developing Countries*; University of Oxford: Oxford, England, 2010; p. 139;.
105. Alkire, S.; Santos, M.E. Measuring Acute Poverty in the Developing World: Robustness and Scope of the Multidimensional Poverty Index. *World Dev.* **2014**, *59*, 251–274, doi:10.1016/j.worlddev.2014.01.026.
106. UNDP *Human Development Report 2010: The Real Wealth of Nations: Pathways to Human Development*; New York, USA, 2010; p. 238;.
107. The DHS Program - Wealth-Index-Construction Available online: <https://dhsprogram.com/topics/wealth-index/Wealth-Index-Construction.cfm> (accessed on Sep 29, 2020).
108. Rutstein, S. Steps to Construction the new DHS Wealth Index n.d.
109. The DHS Program - Quality information to plan, monitor and improve population, health, and nutrition programs Available online: <https://dhsprogram.com/> (accessed on Sep 29, 2020).
110. The 2019 Water & Gender Toolkit has been launched | United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization Available online: http://www.unesco.org/new/en/natural-sciences/environment/water/wwap/display-single-news/news/the_2019_water_gender_toolkit_has_been_launched/ (accessed on Oct 4, 2020).
111. Ponce-Campos, G.E.; Moran, M.S.; Huete, A.; Zhang, Y.; Bresloff, C.; Huxman, T.E.; Eamus, D.; Bosch, D.D.; Buda, A.R.; Gunter, S.A.; et al. Ecosystem resilience despite large-scale altered hydroclimatic conditions. *Nature* **2013**, *494*, 349–352, doi:10.1038/nature11836.
112. Bassett, T.J.; Fogelman, C. Déjà vu or something new? The adaptation concept in the climate change literature. *Geoforum* **2013**, *48*, 42–53, doi:10.1016/j.geoforum.2013.04.010.



