

Vulnerabilidad de la cuenca amazónica ante fenómenos hidroclimáticos extremos

José Daniel Pabón-Caicedo^a

Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá - Colombia

Rosa del Pilar Ycaza^b

Fanny Friend^c

Diana Espinoza^d

Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno de El Niño (CIIFEN), Guayaquil - Ecuador

Norbert Fenzl^e

María Apostolova^f

Organización del Tratado de Cooperación Amazónica (OTCA), Brasilia - Brasil

Resumen

Por su impacto y área de cobertura, las inundaciones y las sequías son los fenómenos hidroclimáticos extremos de mayor relevancia en la Amazonía. Con series del índice estandarizado de precipitación (SPI), se contaron los eventos con valores por encima de 2.0 (excesos extremos) o por debajo de -2.0 (déficit extremo), estableciendo que estos fenómenos son más recurrentes en la Amazonía boliviana. Con datos socioeconómicos y biofísicos, se identificaron los sistemas expuestos a estos fenómenos y los diferentes grados de amenaza para los sistemas agropecuarios y la población. Al analizar la vulnerabilidad de estos sistemas, se pudo establecer que la sequía es mayor en la parte alta andina (Amazonía boliviana, peruana y ecuatoriana); en el sur, en el sector de la cuenca del río Jurueña; en el oriente, sobre un amplio sector entre las cuencas de Xingú y Tocantins; y en el norte, en un pequeño sector correspondiente a la parte alta del río Branco. Respecto a las inundaciones, la mayor vulnerabilidad se da en un amplio sector en el sureste del Amazonas, en sectores del piedemonte de los Andes y en toda la zona plana contigua al río Amazonas o de sus afluentes.

Palabras clave: fenómenos hidroclimáticos extremos, índice estandarizado de precipitación, inundaciones en la Amazonía, sequías en la Amazonía, variabilidad climática en la Amazonía.



doi: 10.15446/rcdg.v27n1.56027

RECIBIDO: 17 DE NOVIEMBRE DE 2015. ACEPTADO: 2 DE DICIEMBRE DE 2016.

Artículo de investigación sobre las fases extremas de la variabilidad hidroclimática en la Amazonía y la vulnerabilidad de la región ante las sequías y las inundaciones.

CÓMO CITAR ESTE ARTÍCULO: Pabón-Caicedo, José Daniel, Rosa del Pilar Ycaza, Fanny Friend, Diana Espinoza, Norbert Fenzl, y María Apostolova. 2018. "Vulnerabilidad de la cuenca amazónica ante fenómenos hidroclimáticos extremos." *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía* 27 (1): 27-49. doi: 10.15446/rcdg.v27n1.56027.

-
- a Dirección postal: carrera 30 n.º 45-03, oficina 317, edificio 212 (Aulas de Ciencias Humanas), Departamento de Geografía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D.C. - Colombia.
Correo electrónico: jdpabonc@unal.edu.co - ORCID: 0000-0002-0012-1318.
 - b Dirección postal: Escobedo n.º 1204 con 9 de Octubre, Guayaquil, Ecuador.
Correo electrónico: p.ycaza@ciifen.org
 - c Correo electrónico: f.friend@ciifen.org
 - d Correo electrónico: d.espinoza@ciifen.org
 - e Dirección postal: Núcleo de Meio Ambiente (NUMA), Universidade Federal do Pará (UFPA) Belém-PA, 66077-830, Brasil.
Correo electrónico: nfenzl@gmail.com - ORCID: 0000-0002-6548-2974.
 - f Dirección postal: SHIS 01 05 Conj. 16 Casa 21, Lago Sul, Brasília DF., Brasil.
Correo electrónico: maria.apostolova@otca.org.br / apostolova.maria@gmail.com - ORCID: 0000-002-1880-7086.

Vulnerabilidade da bacia amazônica ante fenômenos hidroclimáticos extremos

Resumo

Por seu impacto e área de cobertura, as inundações e as secas são os fenômenos hidroclimáticos extremos de maior relevância na Amazônia. Com séries do índice padronizado de precipitação (SPI), contaram-se os eventos com valores acima de 2.0 (excessos extremos) ou abaixo de -2.0 (déficit extremo), estabelecendo que esses fenômenos são mais recorrentes na Amazônia boliviana. Com dados socioeconômicos e biofísicos, identificaram-se os sistemas expostos a esses fenômenos e os diferentes graus de ameaça para os sistemas agropecuários e para a população. Ao analisar a vulnerabilidade desses sistemas, pôde-se estabelecer que a seca é maior na parte alta andina (Amazônia boliviana, peruana e equatoriana); no sul, no setor da bacia do rio Juruena; no leste, sobre um amplo setor entre as bacias de Xingu e Tocantins; no norte, num pequeno setor correspondente à parte alta do rio Branco. A respeito das inundações, a maior vulnerabilidade acontece num amplo setor no sudeste do Amazonas, em setores do sopé dos Andes em toda a região plana contígua ao rio Amazonas ou de seus afluentes.

Palavras-chave: fenômenos hidroclimáticos extremos, índice padronizado de precipitação, inundações na Amazônia, secas na Amazônia, variabilidade climática na Amazônia.

Vulnerability of the Amazon Basin due to Extreme Hydroclimatic Phenomena

Abstract

Given their impact and coverage area, floods and droughts are the most relevant extreme hydroclimatic phenomena in the Amazon region. After counting events with values above 2.0 (extreme excess) or below -2.0 (extreme deficit), using Standard Precipitation Index (SPI) series, it was possible to establish that these phenomena are more recurrent in the Bolivian Amazon region. Socioeconomic and biophysical data were used to identify the systems exposed to these phenomena and the different degrees of threat for agricultural systems and the population. The analysis of the vulnerability of these systems made it possible to establish that droughts are greater in the high Andean area (Bolivian, Peruvian, and Ecuadorean Amazon); to the south, in the basin of the Juruena river; to the east, in a large sector between the basins of the Xingú and Tocantins rivers; as well as to the north, in a small zone corresponding to the upper Río Branco. Regarding droughts, the greatest vulnerability is found in the southeastern Amazon, in parts of the Andean piedmont and in the entire flatland zone adjacent to the Amazon river and its tributaries.

Keywords: extreme hydroclimatic phenomena, Standard Precipitation Index, floods in the Amazon region, droughts in the Amazon region, climate variability in the Amazon region.

Introducción

La región amazónica¹ es importante por su riqueza en recursos hídricos y biológicos, por ser un elemento esencial en el sistema climático mundial y en el ecosistema global y por su diversidad étnico-cultural. En la Amazonía habitan cerca de 316 pueblos indígenas (UNICEF-FUNPROEIB 2009) o 420 etnias diferentes que hablan unas 86 lenguas y 650 dialectos distintos (OTCA 1993). Este vasto territorio alberga una población total de cerca de 54.000.000 de personas, que desarrollan sus actividades vitales aprovechando las oportunidades y afrontando las adversidades que diversos factores del medio natural les facilita o impone. Dentro de estos factores están el tiempo atmosférico y el clima que, con sus expresiones extremas, impactan los ecosistemas y la población expuestos a sus embates.

Las condiciones de clima tropical húmedo, con un marcado ciclo anual de la precipitación, suscitan procesos estacionales en el medio biofísico a los cuales se ajustan los sistemas humanos que habitan la región. No obstante, los patrones climáticos de la Amazonía están sometidos a oscilaciones de diversos periodos, desde la escala intraestacional o intermensual (Souza y Ambrizzi 2006) a la interanual e interdecadal (Brando et ál. 2010; Espinoza et ál. 2009; Labat et ál. 2004; Liebman y Marengo 2001; Marengo 2004, 2009; Marengo y Hastenrath 1993; Saatchi et ál., 2013; Zeng 1999). Las diferentes fases de estas oscilaciones provocan variaciones (aumento/disminución) de la frecuencia de los diferentes fenómenos hidrometeorológicos y traen eventos hidroclimáticos extremos, como las inundaciones y las sequías, que generan desajustes de la relación establecida por las comunidades con el clima y, en diverso modo y grado, afectan a la población (Marengo et ál. 2013). El estudio de la variabilidad climática interanual de la región amazónica ha sido ampliamente abordado (véase la síntesis y análisis de Marengo et ál. 2001). En la precipitación y caudales de la Amazonía se han identificado ciclos cercanos de 2-3 y de 4-7 años (Labat et ál. 2004). El primero está asociado

a una oscilación casi bienal en las variables hidroclimáticas de la Amazonía que, aunque con poca amplitud, es persistente; el segundo ciclo se asocia principalmente a El Niño - Oscilación del Sur (ENOS), dado que se ha evidenciado una estrecha conexión entre los procesos del Pacífico Central y Centro-oriental (sectores El Niño 3 y 3,4) y la variabilidad climática interanual de la Amazonía, pero la hidroclimatología amazónica también es influenciada por la variabilidad interanual del Atlántico (Marengo et ál. 2011), como fue el caso de las sequías del 2005 y del 2010, que no estuvieron relacionadas con eventos de El Niño, sino con anomalías positivas de la temperatura de la superficie del mar del Atlántico norte.

Por su parte, Valverde y Marengo (2011), en un análisis de eventos hidroclimáticos extremos (sequías y periodos anormalmente lluviosos que propician inundaciones de largo plazo), corroboraron la influencia de la variabilidad de la temperatura superficial del mar —en adelante, TSM— del Pacífico Central y del Atlántico Norte en el comportamiento de la precipitación y de los niveles de los ríos amazónicos. También es necesario tener en cuenta que, según Espinoza et ál. (2014), el gradiente de temperatura entre subtropical-tropical del Atlántico Sur inciden en la generación de fases extremas de la variabilidad climática de un sector de la cuenca amazónica, lo que explica el caso concreto de las inundaciones del 2014 en el sector del Pando y Beni en Bolivia y sur de la Amazonía peruana. También se han identificado ciclos de la variabilidad climática interdecadal, que están gobernados en la Amazonía tanto por los procesos oscilatorios del Pacífico (el ciclo la Oscilación Decadal del Pacífico —en adelante, PDO—), del gradiente meridional de presión atmosférica entre el trópico y el subtropical sobre Sudamérica y del gradiente meridional de temperatura de la superficie del mar del Atlántico tropical (Marengo 2009).

Así mismo, con el cambio climático los eventos meteorológicos e hidroclimáticos extremos podrían variar (aumentar o disminuir) su frecuencia e intensidad (IPCC 2013). El SREX (IPCC 2012) señala que en la región estaría aumentando el periodo de retorno (es decir, la frecuencia) de la mayor parte de eventos extremos de lluvia, y el IPCC (2014) sintetiza los posibles impactos en el mundo, señalando la región amazónica como una de las afectadas. Las tendencias a largo plazo, que se han venido registrando en el pasado reciente (siglo XX) en la temperatura del aire y en la precipitación, han sido analizadas por diverso autores. Por ejemplo, Marengo (2009) comparó los datos de precipitación y niveles de los ríos amazónicos con series de datos que cubren gran parte del siglo XX y no detectó

1 En el marco de este trabajo, se entiende por región amazónica el espacio definido por los países signatarios del Tratado de Cooperación Amazónica (TCA), que cubre un área total de 7.492.621 km² —7.350.621 km² sobre parte del territorio de los Estados que han considerado su Amazonía Legal (de Bolivia, Brasil, Colombia, Ecuador, Guyana, Perú y Venezuela)— y 142.000 km² de Surinam, que es la totalidad del territorio de este Estado.

tendencias unidireccionales a largo plazo, sino ciclos multidecadales. Valverde y Marengo (2011) analizaron el número de días continuos secos e identificaron una tendencia a la reducción de estos en las estaciones localizadas en el oeste, pero en una ubicada al suroeste la tendencia fue al incremento, lo que atribuyen a un mayor efecto de las sequías del 2005 y del 2010 en este sector. Estos mismos autores también analizaron el número de días muy lluviosos (cuya precipitación excede el percentil 95) y encontraron una disminución en el sector sureste. Por su parte, Skansi et ál. (2013), al usar series de datos diarios de temperatura del aire y precipitación del periodo 1950-2010, identificaron para la Amazonía señales de un aumento en la temperatura, tanto en las series de las máximas como de las mínimas, y detectaron además que el número de días con temperaturas superiores a 25 °C ha venido aumentando a un ritmo de hasta 6 días/decenio; de igual manera, encontraron una disminución en el número de noches frías. En cuanto a la precipitación, estos investigadores identificaron una tendencia generalizada al aumento en la Amazonía, que, en términos de precipitación anual, resulta ser del orden de 50-75 mm por decenio. En síntesis, según los análisis de diversos trabajos, el clima en la cuenca amazónica se está haciendo más cálido y en general un poco más húmedo, a excepción de algunos puntos en los que está ocurriendo una ligera tendencia a una menor precipitación.

Las condiciones climáticas posibles en la cuenca amazónica durante el siglo XXI han sido planteadas mediante la elaboración de escenarios por diversos autores. Nobre et ál. (2009), a partir del empleo de tres modelos regionales en resolución espacial de 50 x 50 km y en los escenarios A2 (altas emisiones) y B2 (bajas emisiones) y los resultados de Ambrizzi et ál. (2007), estiman que hacia finales del siglo XXI el clima de la cuenca amazónica sería más cálido (hasta en 4-6 °C en los escenarios A2) y más seco que lo observado en el periodo 1961-1990. Los escenarios de IPCC (2013) sugieren que para la región amazónica, bajo el RCP 2,6 (bajas emisiones), hacia el 2100 la temperatura se habrá incrementado en 1,5-2,0 °C en comparación con los promedios observados en el periodo 1986-2005. Entretanto, el cambio de la precipitación anual estaría entre el -10% (disminución) y el 10% (aumento) de los volúmenes observados en el mismo periodo de referencia. En el marco del escenario RCP 8,5, la temperatura iría paulatinamente aumentando hasta tener, en el periodo 2081-2100, entre 4-6 °C por encima de la observada en 1986-2005 y la precipitación,

al igual que en el escenario descrito, tendría un rango de cambio entre -10 y 10%.

Los escenarios de cambio climático generados para Sudamérica (CIIFEN 2014), basados en el ensamble de cuatro modelos del CMIP5 (BCC-CSM1, GFDL, HadGEM2 y ECHAM6-LR) y bajo una condición intermedia del escenario RCP 4,5, muestran que para la Amazonía el mayor calentamiento (entre 3-4 °C) ocurrirá en septiembre-octubre-noviembre y sería más marcado en el sur y oriente. Durante diciembre-enero-febrero —en adelante, DEF— y marzo-abril-mayo —en adelante, MAM—, el mayor calentamiento se localiza en un sector en el norte de la cuenca y en cuanto a precipitación habría ligera disminución en el sureste y este y un aumento (hasta del 25%) en el occidente y noroccidente de esta región. En DEF y en MAM, el aumento es casi generalizado en toda la cuenca, siendo mayor en el sector occidental, especialmente sobre la vertiente de los Andes en Bolivia y Perú; la estación de junio-julio-agosto (JJA) sería igualmente más húmeda que en la actualidad, pero con los mayores incrementos en la Amazonía ecuatoriana, colombiana y venezolana. En septiembre-octubre-noviembre (SON), la precipitación estaría muy cerca de lo que es en la actualidad, solo con algunos sectores con aumentos notorios en las vertientes de los Andes. Al parecer, el clima de la cuenca amazónica continuará de manera paulatina tornándose más húmedo en el sector central y especialmente en el occidental.

Las inundaciones y las sequías son los fenómenos hidroclimáticos que más afectan al sistema socioeconómico regional y la magnitud de los impactos depende tanto de la intensidad y duración del evento como del forma en que están organizadas las comunidades para afrontar el momento crítico y recuperarse. Algunas comunidades, a través de la experiencia de generaciones previas, han desarrollado formas y prácticas de respuesta, otras apenas están construyendo esa capacidad y hay algunas que no tienen sistemas organizados para atender los momentos críticos que traen las fases extremas de la variabilidad climática. Los desastres debido a estos fenómenos hidroclimáticos extremos se convierten en un obstáculo o freno para el desarrollo humano sostenible de las comunidades, por lo que es necesario trabajar en el fortalecimiento de su capacidad de respuesta ante las adversidades suscitadas por los eventos hidroclimáticos extremos. El cambio climático que está en curso, y que se irá haciendo notorio en virtud de cómo transcurran los próximos decenios, modificará los patrones climáticos a los que están ajustados los

Ecuación 1.

Riesgo = Amenaza (Fenómeno Extremo + Exposición) * Vulnerabilidad (Susceptibilidad - Resiliencia)

procesos socioeconómicos regionales. De igual modo, transformará las características de las fases extremas de la variabilidad climática modificando la frecuencia o la intensidad de las sequías o de las inundaciones. Con clima cambiado o no, tales eventos extremos seguirían ocurriendo e impactando al menos como lo hacen en la actualidad. Por ello, es necesario tomar acciones para la reducción de los impactos generados por estos fenómenos.

Lo anterior destaca la importancia de analizar el grado de vulnerabilidad de una región, como la cuenca amazónica, ante los eventos hidroclimáticos extremos, tales como inundaciones y sequías. Tal análisis permitirá establecer el grado de vulnerabilidad y los puntos críticos que habría que tratar para mejorar la capacidad de respuesta y recuperación (resiliencia) de las comunidades ante la sequía y las inundaciones, lo que indudablemente contribuirá a la adaptación a las transformaciones que está trayendo el cambio climático. Al tener en cuenta la importancia del tema, la Organización de Tratado de Cooperación Amazónica —en adelante, OTCA—, en el proyecto “Manejo integrado y sostenible de los recursos hídricos transfronterizos de la cuenca del río Amazonas, considerando la variabilidad y el cambio climático”, impulsó el desarrollo de un análisis de la vulnerabilidad de la cuenca amazónica ante eventos hidroclimáticos, para fortalecer la planificación y la ejecución de acciones estratégicas de protección y gestión de los recursos hídricos de la cuenca.

Este artículo resume la metodología, el análisis y los resultados del estudio de vulnerabilidad de la cuenca amazónica ante los fenómenos hidroclimáticos de inundación y sequía. Esta información que puede servir para el planteamiento de acciones orientadas a mejorar la resiliencia de las comunidades antes estos eventos hidroclimáticos extremos, con lo que se iría avanzando en el proceso de adaptación a la transformación de la frecuencia o de la intensidad de estos fenómenos que el cambio climático podría producir.

Materiales y métodos

Este trabajo se desarrolló en las siguientes partes: identificación de los desastres más frecuentes en la región, zonificación de los fenómenos hidroclimáticos más

relevantes, determinación de la amenaza y análisis de la vulnerabilidad. El estudio de la vulnerabilidad se realizó dentro del marco conceptual y teórico de la aproximación a la evaluación del riesgo de desastre por eventos extremos, que se resume en la ecuación 1.

Un fenómeno extremo (brusco o violento) se convierte en amenaza solo cuando hay sistemas (ecosistemas o sistemas humanos) o elementos de sistemas expuestos a la acción negativa de dicho evento; así, la exposición no es vulnerabilidad ni forma parte de esta, sino que es una condición para establecer la amenaza. La vulnerabilidad es la característica a través de la cual es posible juzgar la capacidad del sistema expuesto o su(s) elemento(s) para recibir el impacto, asimilarlo y recuperarse. La vulnerabilidad, a su vez, puede ser de varios tipos (Cardona 2004). El riesgo significa las posibles pérdidas o daños, el posible impacto negativo que generaría el fenómeno extremo —es necesario anotar que, en el tema de cambio climático, en lugar de resiliencia se utiliza capacidad de adaptación o adaptabilidad, dado que este fenómeno no es brusco ni extremo, sino una modificación paulatina a largo plazo—. El cálculo de la vulnerabilidad se realizó con base en lo señalado por el IPCC (2012) y siguiendo la experiencia de Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno de El Niño —en adelante, CIIFEN— (2014).

Inicialmente, se realizó la primera fase del estudio relacionada con la identificación de los desastres más frecuentes y de mayor incidencia en la cuenca amazónica y de los aspectos socioeconómicos y biofísicos mayormente afectados. Para tal fin, se revisó la historia de los desastres explorando las bases de datos de desastres regionales Desinventar² de la Corporación OSSO - LA RED - UNISDR (Corporación OSSO 2013), la base de datos EM-DAT de la OFDA (OFDA y CRED 2009) y el Sistema Integrado de Información sobre Desastres - S2ID (Defensa Civil do Brasil, Ministério da Integração Nacional y Governo Federal 2014). Mediante la organización de los reportes, el conteo de eventos durante un periodo determinado y teniendo en cuenta los impactos reportados, se identificaron los fenómenos hidroclimáticos más relevantes por la frecuencia de los

2 Para ampliar información, véase <http://www.desinventar.org>

reportes y por la magnitud de los impactos. A partir de este análisis, como se presenta más adelante, los desastres de mayor frecuencia y magnitud han sido los generados por los fenómenos hidrológicos de sequía e inundación, por lo que el estudio se enfoca solo en estos dos fenómenos.

Para valorar la frecuencia, la intensidad y la distribución espacial de las condiciones climáticas anómalas que conducen a la sequía o a las inundaciones, se utilizó el índice estandarizado de precipitación —SPI, por el nombre en inglés— asignando a los valores mínimos la categoría de sequía y a los máximos la de inundaciones. El SPI se basa en el cálculo de la diferencia entre las desviaciones estándar y el promedio de una serie prolongada de datos de precipitación (McKee, Doesken y Kleist 1993). La mayor parte de los valores del SPI oscila entre -3,0 y 3,0, en donde los valores negativos indican un déficit de precipitación en relación con los volúmenes normales para la región y los positivos señalan excesos. Así, los mínimos y los máximos de este índice dan cuenta de los eventos extremos de sequía y extrema humedad; el uso de este índice ha tomado mucha importancia dentro de los análisis de extremos climáticos en la región. Este índice ha sido ampliamente usado para estudios de la sequía (Edwards y McKee 1997; McKee, Doesken y Kleist 1993; Vicente-Serrano et ál. 2012) y para el monitoreo y diagnóstico de dicho fenómeno; sin embargo, puede ser utilizado también para el análisis de la fase extrema opuesta (periodos con precipitaciones extremas) e inferir acerca de las inundaciones; en este último caso se usó también el mapa de zonas inundables. Dado que los eventos hidrológicos extremos son aquellas anomalías que ocurren en un periodo prolongado, más largo que la estación lluviosa o seca, se tomó el SPI para intervalos de seis meses (SPI6), usando los datos del periodo 1979-2014, descargados de la biblioteca del International Research Institute for Climate and Society (IRI), de la Universidad de Columbia, Estados Unidos.

Para la zonificación del fenómeno, en este estudio se utilizó un indicador relacionado con la frecuencia de una condición extrema (déficit o exceso) en la cuenca, el cual se construyó de la siguiente manera: en cada punto de grilla, en la que había disponible datos mensuales del SPI6, se realizó el conteo del número de veces que el SPI6 estuvo por debajo (o por encima) de -2,0 (o de 2,0), es decir, el número de casos con sequía (o inundaciones de larga duración), según McKee, Doesken y Kleist (1995), en el periodo de 35 años, a manera de

estimación de una frecuencia del fenómeno. Teniendo en cada punto el dato del número de veces que ocurrió la condición señalada (déficit o exceso anómalo de precipitación), se elaboró el mapa que muestra la distribución espacial de la expresión del fenómeno en la región.

Con la zonificación del fenómeno y la distribución espacial de los elementos expuestos (sistemas agrícolas, población, infraestructura y medio biofísico) ante tales fenómenos, se elaboraron los mapas de amenaza por sequía e inundación. La distribución espacial (mapas) de los elementos expuestos se organizó con base en la información biofísica y socioeconómica suministrada por diferentes instituciones de los países miembros de la OTCA. Los elementos expuestos usados para la elaboración de los mapas de amenazas fueron los identificados en la primera fase del estudio: sector agropecuario, población e infraestructura. Para cada uno de estos aspectos, se elaboró el respectivo mapa de amenaza (por sequía o por inundación).

Establecidos estos elementos, se procedió a la evaluación de los diferentes tipos de vulnerabilidad, lo cual se realizó siguiendo el procedimiento utilizado por CIIFEN (2014) para el estudio de la vulnerabilidad en una región de Ecuador. Los detalles de esta aproximación al establecimiento de la vulnerabilidad en la cuenca se detallan en el informe técnico CIIFEN (2015), que se puede resumir así:

- La vulnerabilidad es resultado de la acción opuesta de dos elementos (susceptibilidad y capacidad adaptativa), en los que actúan factores físico-bióticos y socioeconómicos. La susceptibilidad corresponde al grado de fragilidad de un sistema ante una amenaza; la capacidad adaptativa reúne todos los factores que le permiten a los sistemas afrontar los impactos negativos ocasionados por los fenómenos extremos. La susceptibilidad es diferente para la sequía y para la inundación, dado que ante la primera puede haber elementos expuestos, como la infraestructura, que no susceptibles de ser afectados, pero sí lo son ante la segunda.
- Para estimar la susceptibilidad biofísica ante las inundaciones y sequías, se clasificaron en cinco categorías (de muy baja a muy alta) aspectos como la densidad de ríos según dotación hídrica (alta densidad: susceptibilidad muy alta), pendiente del terreno (baja: susceptibilidad muy alta), textura del suelo (arcillas: susceptibilidad muy alta) y cobertura vegetal (poca: muy alta susceptibilidad). Para inundaciones, se consideró además la infraestructura

vial (densa red de vías: susceptibilidad muy alta). En cuanto a la susceptibilidad socioeconómica, se consideraron aspectos sociales (grupos etarios, es decir, alta composición de niños y de ancianos o población económicamente dependiente: susceptibilidad muy alta) y económicos (aptitud de áreas agrícolas; en el caso de la baja aptitud: susceptibilidad muy alta).

- Para la valoración de la capacidad adaptativa se procedió de manera similar, con aspectos como el número de actividades alternativas a las agropecuarias (pocas: susceptibilidad muy alta), infraestructura de educación y de salud (buena infraestructura: capacidad adaptativa alta), conectividad con la red pública de abastecimiento de agua (porcentaje alto de la población conectado: capacidad adaptativa alta).

La información sobre los aspectos mencionado se obtuvo de las fuentes oficiales de cada país de la región amazónica.

Resultados y discusión

En la figura 1a se muestra la síntesis del análisis de los desastres causados por diferentes fenómenos de índole meteorológica e hidroclimática, presentados como el porcentaje obtenido entre el número de registros de desastre por un fenómeno determinado en relación con el total de los reportes de desastres incluidos en las bases de datos antes mencionadas, en el periodo 1970-2015.

La figura 1a permite establecer que en la cuenca las inundaciones están en el primer lugar de ocurrencia, con el 50% del número total de reportes, mientras que los fenómenos asociados a periodos anormalmente húmedos (deslizamientos, avenidas torrenciales y aluviones) representan el 22% de los registros, lo que indica que la fase extrema de variabilidad climática, asociada a lluvias por encima de lo normal, es la que genera más desastres en la cuenca amazónica. Las sequías y el fenómeno asociados (incendios forestales) ocuparon el 19% y 4%, respectivamente. Si se analiza subregionalmente la incidencia de los fenómenos meteorológicos e hidroclimáticos extremos, se observa que en la Amazonía andina (figura 1b) el mayor porcentaje de estos se relacionan con lluvias por encima lo normal y sus eventos asociados, los que ocupan cerca del 88%, mientras que las sequías junto con los incendios forestales alcanzan un 12% del total de registros. En la Amazonía brasileña (figura 1c), los dos fenómenos de mayor incidencia son las inundaciones, que alcanzan

el 51% de los registros, y las sequías, con el 41% aproximadamente. Otros fenómenos asociados, como los incendios forestales, deslizamientos y erosión fluvial, poseen menos del 2% del total de registros.

Luego de identificar que los fenómenos de mayor recurrencia son las inundaciones y las sequías, se exploraron los aspectos socioeconómicos que más son afectados por tales eventos hidroclimáticos extremos. Para el caso de las inundaciones, los cultivos y áreas de bosques, junto con las vías, la infraestructura escolar y de salud, son los sectores más afectados con un 23% de las afectaciones por cada uno, mientras que la población y el sector ganadero registran entre el 15% y 16% del total de afectaciones (figura 1d). En cuanto a las sequías, el mayor impacto ocurre sobre el sector ganadero, con el 53%, y en la población, con el 38% de las afectaciones (figura 1e). Los impactos sobre los cultivos y los bosques por efectos de las sequías constituyen el 6% del total de las afectaciones ante dicho fenómeno en la Amazonía andina (Corporación OSSO 2013), a pesar de que la incidencia de los incendios forestales también tiene un papel importante dentro de las principales causas de pérdida de grandes extensiones de bosques en la región.

Si se tiene en cuenta el análisis de las estadísticas de los desastres por fenómenos hidroclimáticos extremos expuesto en la figura 1, así como la distribución espacial de la población y sus actividades, se pueden inferir los principales sistemas o elementos del medio biofísico y socioeconómico que están expuestos al impacto de los fenómenos, lo cual se sintetiza en la tabla 1.

Tabla 1. Síntesis de la exposición a los fenómenos hidroclimáticos sequía e inundaciones en la cuenca amazónica

Sistemas expuestos	Elementos expuestos	Exposición al fenómeno hidroclimático extremo	
		Sequía	Inundación
Sistema socioeconómico	Población	*	*
	Medios de vida	*	*
	Infraestructura		*
Sistema biofísico	Medio natural	*	*

Las grandes extensiones de explotación agropecuaria y la población están expuestas a las inundaciones y las sequías. Si bien los cultivos y pastos ocupan áreas extensas, la población y la infraestructura se concentran sobre la línea del río Amazonas y de sus tributarios.

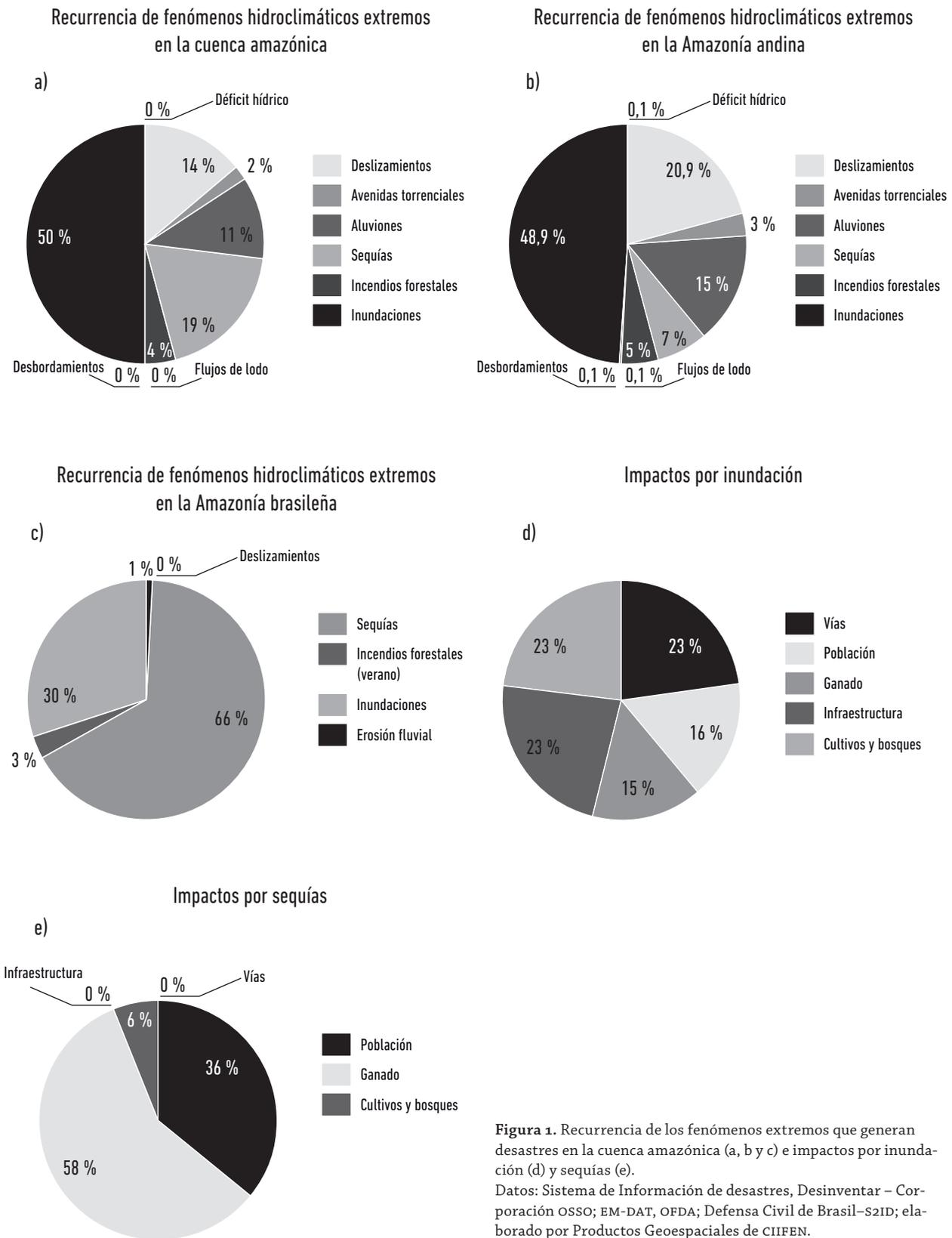


Figura 1. Recurrencia de los fenómenos extremos que generan desastres en la cuenca amazónica (a, b y c) e impactos por inundación (d) y sequías (e).
 Datos: Sistema de Información de desastres, Desinventar – Corporación OSSO; EM-DAT, OFDA; Defensa Civil de Brasil–S2ID; elaborado por Productos Geoespaciales de CIIFEN.

Esta particularidad de la distribución espacial de los elementos expuestos es la que hace que las amenazas por inundación sean mayores a lo largo de los ríos.

Con ayuda de la figura 2a es posible establecer que los extremos de humedad que dan origen a inundaciones (los eventos con SPI6 mayores de 2,0) son más frecuentes en la parte alta de las cuencas de los ríos Madre de Dios, Purús, Juruá y Marañón (sector amazónico de Bolivia y Perú), aunque las inundaciones como tal ocurren en la parte baja de estos ríos, en los ríos Madeira y el Amazonas (por esta razón, para el análisis de las inundaciones, se debe incorporar adicionalmente el mapa de zonas inundables en la figura 2c, que fue construido utilizando la geomorfología y la información suministrada por las diferentes instituciones de los países de la región).

La figura 2b muestra la distribución espacial de la recurrencia o frecuencia de los eventos con SPI6 menores de -2 (extremo déficit) en la cuenca amazónica. Es posible observar que durante el periodo analizado los eventos de sequía han sido más frecuentes en el sector sur de la cuenca, en el sector sur de los llanos bolivianos y en la frontera Bolivia-Brasil sobre las cuencas de los ríos Beni, Mamoré, Guaporé y Machado; la menor frecuencia de este fenómeno ocurre en el arco andino de la cuenca, desde el norte de Perú, en Ecuador, Colombia Venezuela, Guyana y Surinam. Esto coincide con los resultados obtenidos a partir del análisis de los reportes por desastres asociados con este fenómeno expuestos arriba.

Según las zonificaciones de la frecuencia de los extremos del SPI6 (figuras 2a y 2b), en el sector suroccidental de la cuenca se presenta una mayor recurrencia de los extremos de dicho índice, al parecer generada por ciclos de 2 a 3 años, mientras que en el norte y noroccidente (sector amazónico del norte del Perú, Ecuador, Colombia, Venezuela, Guyana y Surinam) tales oscilaciones o ciclos al parecer tienen un periodo un tanto mayor (tal vez de 5 a 6 años e incluso décadas).

La situación del fenómeno hidroclimático extremo (inundación o sequía presentada en la figura 2 frente a los elementos expuestos en la tabla 1) conforma la amenaza, que se visibiliza en los mapas de la figura 3, donde se resumen las amenazas a los sistemas agropecuarios (a, c) y a la población (b, d) por sequía e inundación en la cuenca amazónica.

La mayor amenaza por sequía se sitúa en el sur en la zona de las grandes extensiones agropecuarias del sur

de Brasil (figura 3a), sectores de la parte alta de la cuenca en los Andes bolivianos; para la población, la mayor amenaza por este fenómeno está en una amplia franja que cubre desde los límites entre Bolivia y Brasil hasta la parte andina de la cuenca en Bolivia y Perú (figura 3b).

Como es de esperar, la amenaza por inundación está presente a lo largo de los ríos, en las zonas inundables (figura 2b); sin embargo, la frecuencia de los excesos de humedad (calculados con el SPI6 y representados en la figura 2a) induce a una diferenciación espacial y presenta sectores de la línea de las zonas inundables con mayor o menor amenaza (figuras 3c y 3d).

Por esta razón, las áreas de cultivo en sectores ubicados en el sur de la Amazonía presentan la amenaza más alta (figura 3c). Para el caso de la amenaza sobre la población (figura 3d), es alta en aquellos tramos de los ríos donde hay mayor densidad de centros poblados; la amenaza alta en la zona oriental plana de Bolivia se debe más a que, comparativamente con el resto de la Amazonía, esta zona tiene la mayor recurrencia de fases extremas de altas precipitaciones.

Conocidos los sistemas y elementos expuestos, con los cuales se diferencié la amenaza, se procedió a evaluar los componentes susceptibilidad y capacidad de adaptación para, finalmente, establecer el valor de la vulnerabilidad, acorde con CIIFEN (2014). El análisis de susceptibilidad y capacidad adaptativa se realizó considerando cada fenómeno y teniendo en cuenta dos componentes: socioeconómico y biofísico. El componente biofísico considera aspectos inherentes al entorno dentro del área de estudio, como redes hídricas, vegetación, textura del suelo y topografía, mientras que el componente socioeconómico, en este análisis, hace referencia a las actividades agropecuarias, infraestructura y aspectos sociales como los medios de vida de la población y movilidad.

En esta fase de la investigación se obtuvo que, para las inundaciones y las sequías, la susceptibilidad por aptitud del suelo para actividades agrícolas es mayor en el sector oriental y suroriental de la cuenca (figura 4a); la baja aptitud del suelo en estas zonas hace tengan una alta susceptibilidad frente a los fenómenos hidroclimáticos extremos analizados. En los aspectos sociales analizados, la susceptibilidad por edad (figura 4b) está distribuida de acuerdo con la densidad de los centros poblados, con altas concentraciones en la parte andina, piedemonte y en una franja a lado y lado del río Amazonas; en el arco andino de Bolivia y Perú

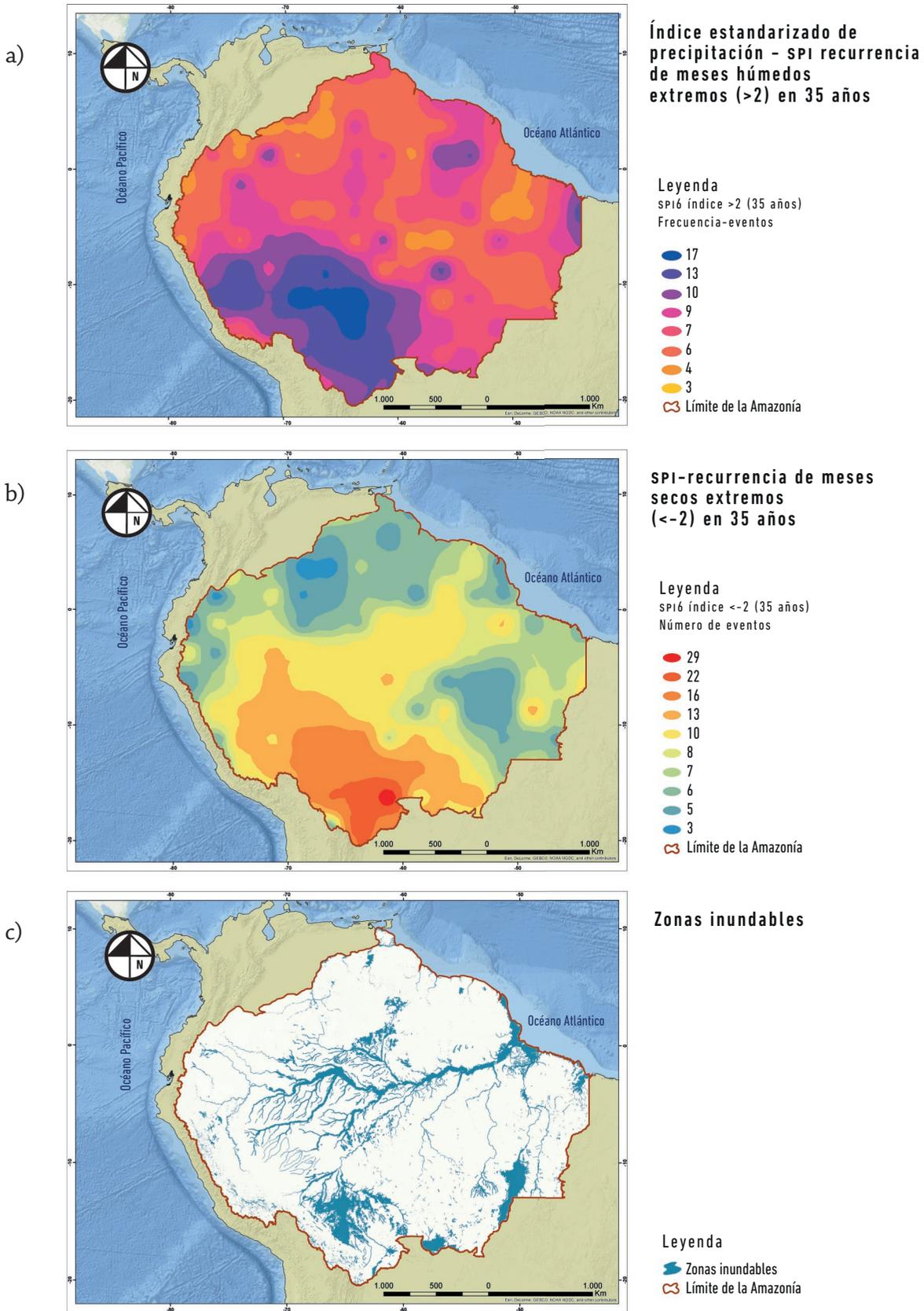


Figura 2. a) distribución espacial del número de eventos en el que el SPI6 estuvo por encima de 2; b) por debajo -2; c) mapa de zonas inundables.

Datos: a y b) International Research Institute for Climate and Society IRI, 2014; c) Diversas agencias nacionales de los países de la OTCA; los datos fueron suministrados por los Puntos focales de la OTCA; elaborado por Productos Geoespaciales de CIIFEN.

y en la parte media de los ríos tributarios andinos se registra la mayor susceptibilidad debida a la población económicamente activa dedicada al sector agropecuario (figura 4c). La susceptibilidad del sistema vial ante inundaciones (figura 4d) mostró los mayores valores sobre una estrecha franja en el arco andino de la cuenca y en una banda más ancha a lo largo del borde sur y oriental; esta particular distribución se explica por la mayor densidad de la red de las vías en estos sectores, no necesariamente por la zonificación de las inundaciones.

La valoración de la susceptibilidad biofísica se realizó por subcomponentes. La susceptibilidad por pendiente del terreno para inundación es inversa que para sequía; así, las zonas de alta pendiente, como el borde andino, presentan la mayor susceptibilidad a la sequía, mientras que la susceptibilidad a las inundaciones por este factor es mayor en toda el área plana de la cuenca y en algunos pequeños sectores planos de la parte andina (figura 5a y 5b, respectivamente). Por la textura del suelo, un factor analizado en la figura 5b y 5c, la cuenca es poco susceptible a sequías y solo algunos sectores con alta susceptibilidad se presentan en el cuadrante sur-oriental; entre tanto, por este mismo factor, casi la totalidad de la cuenca es altamente susceptible a inundaciones. La susceptibilidad biofísica de la cuenca ante las inundaciones, debido a la dotación de la red hídrica (figuras 5f), resulta ser mayor en la parte andina, mientras que para las sequías (figura 5e) la mayor susceptibilidad se da en la parte baja (plana) de la cuenca.

Al analizar la capacidad adaptativa ante las sequías e inundaciones por disponer de actividades alternas a las agropecuarias (figura 6a), se obtuvo que la menor capacidad adaptativa está en el sector andino de la Amazonía y en la franja a lo largo del río, justamente sobre las zonas en donde se señaló la mayor susceptibilidad. Otro indicador analizado fue la capacidad adaptativa por infraestructura educativa (figura 6b), que resultó ser baja en amplios sectores; sin embargo,

en las zonas con mayor densidad de población, en donde la exposición de esta es mayor, este indicador presenta valores de moderada a alta, excepto en el sector sur y oriental, en donde es baja. La distribución de la capacidad adaptativa por abastecimiento de agua en la cuenca (figura 6c) es buena, dado que, como en gran parte de la región, el suministro de agua es relativamente bueno; solo en el sur de la cuenca, en los llanos de Bolivia, se presenta una muy baja capacidad de adaptación en este aspecto.

Con la integración de la capacidad adaptativa y la susceptibilidad socioeconómica se obtuvo la vulnerabilidad socioeconómica que, combinada con la vulnerabilidad biofísica, permite tener una mirada integradora sobre la vulnerabilidad de los sistemas establecidos en la cuenca amazónica frente a los fenómenos hidroclimáticos extremos de sequía e inundación.

El mapa de la figura 7a resume el análisis de vulnerabilidad de la cuenca amazónica frente a la sequía y muestra que los mayores valores de este indicador se registran en la parte alta andina (Amazonía boliviana, peruana y ecuatoriana), en el sector de la cuenca del río Jurueña (tributario del Tapajós) y en el oriente, sobre un amplio sector entre las cuencas de Xingú y Tocantins; en norte se registra un pequeño sector correspondiente a la parte alta del río Branco. Se puede constatar que la vulnerabilidad ante la sequía para la parte andina de la cuenca está más por la susceptibilidad biofísica, mientras que en el sector sur es el resultado de una participación casi igual de la biofísica como de los factores socioeconómicos. En el oriente, la susceptibilidad socioeconómica influye en mayor proporción sobre la vulnerabilidad ante la sequía.

Un análisis similar para las inundaciones permite establecer que la mayor vulnerabilidad integral (figura 7b) se sitúa en un amplio sector en el suroriente, en espacios ubicados a lo largo del río Amazonas y en el piedemonte de los Andes; toda la zona plana contigua al río Amazonas o a sus afluentes presenta vulnerabilidad alta o muy alta.

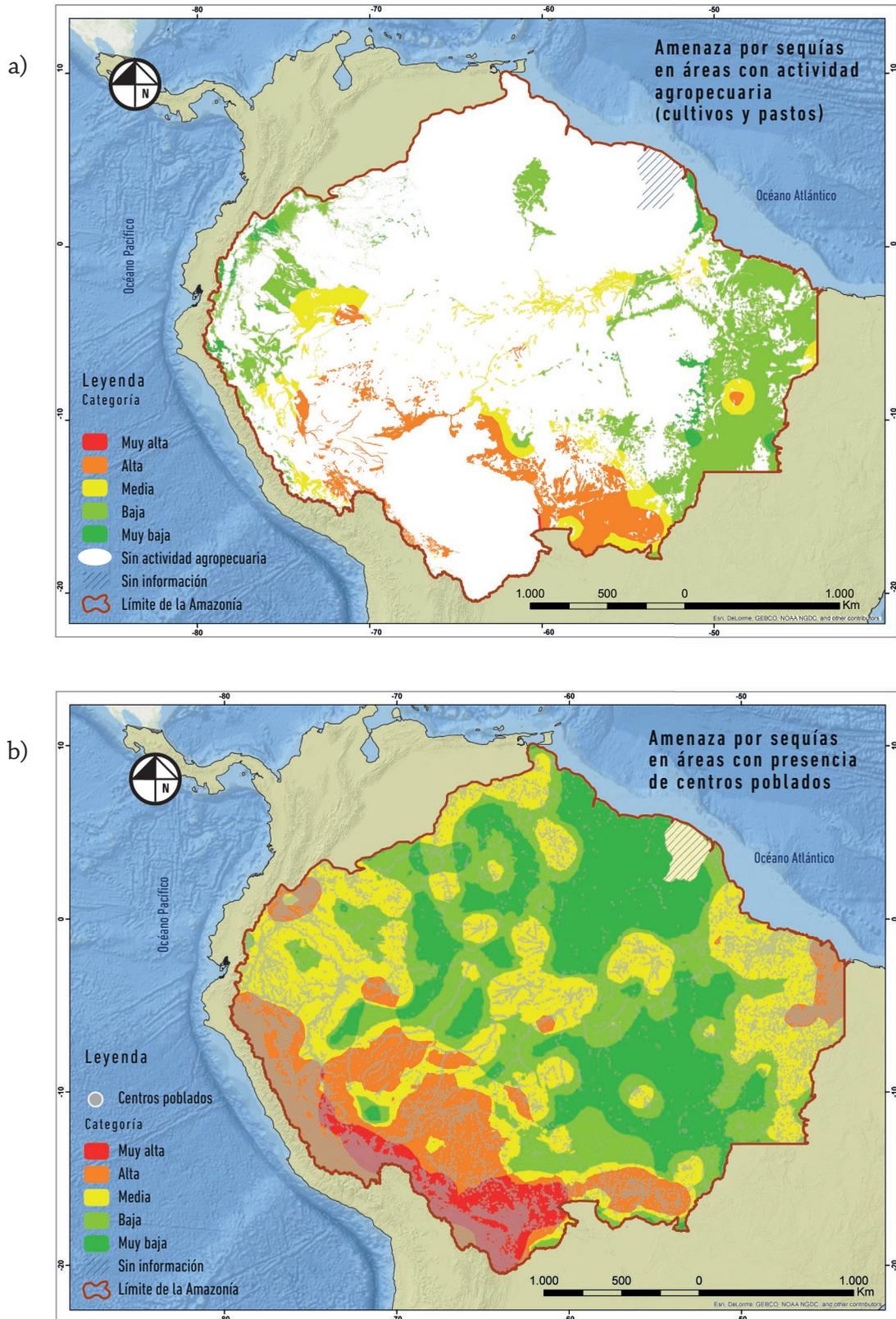


Figura 3. a) distribución espacial de los diferentes grados de **amenaza de sequía** para áreas con actividad agropecuaria; b) para las áreas con centros poblados.

Datos: Diversas agencias nacionales de los países de la OTCA; los datos fueron suministrados por los Puntos focales de la OTCA; elaborado por Productos Geoespaciales de CIIFEN.

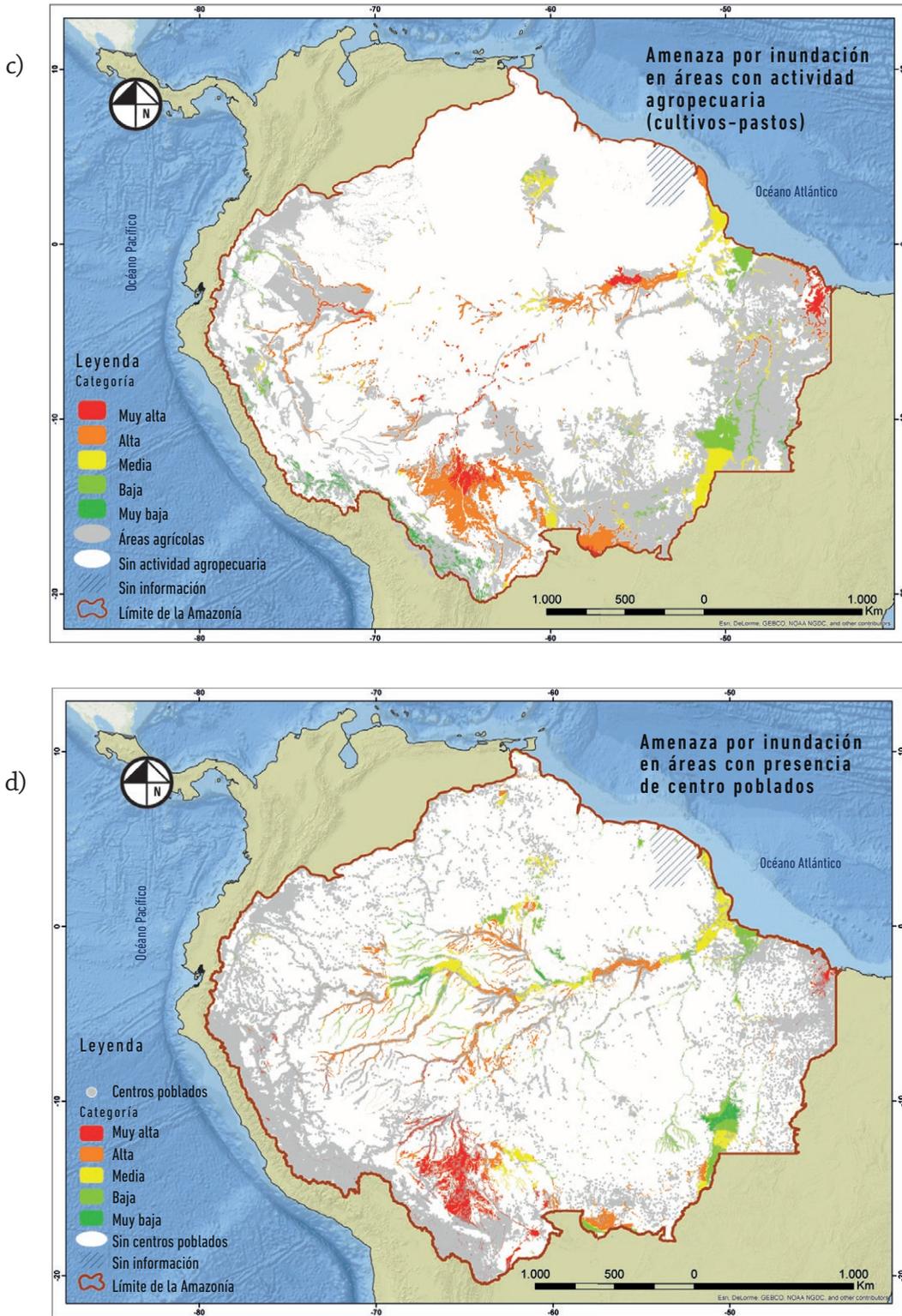


Figura 3. Continuación. c) amenaza de inundación para áreas con actividad agropecuaria; d) las áreas con centros poblados en la cuenca amazónica.

Datos: Diversas agencias nacionales de los países de la OTCA; los datos fueron suministrados por los Puntos focales de la OTCA; elaborado por Productos Geoespaciales de CIIFEN.

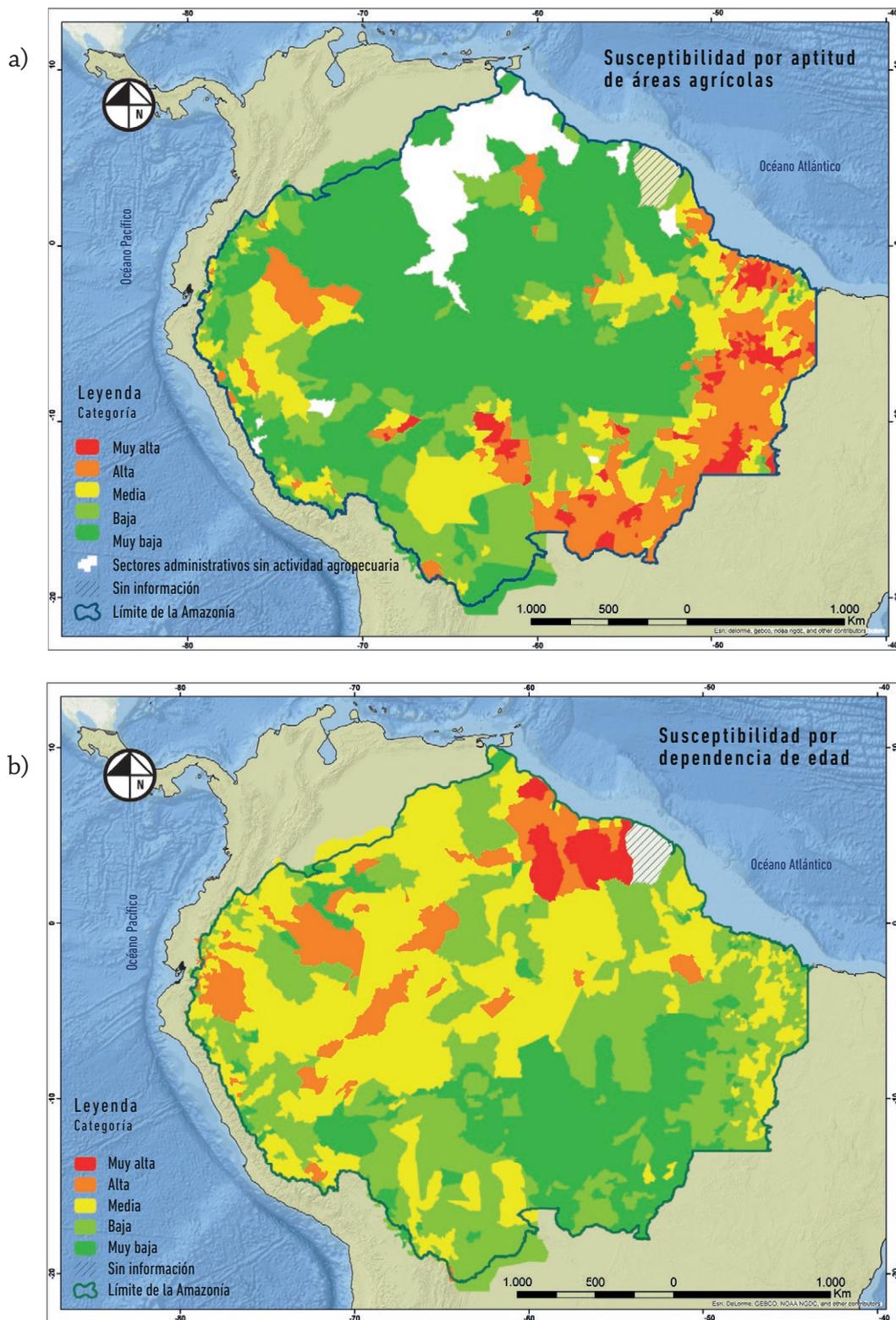


Figura 4. Susceptibilidad socioeconómica ante inundaciones y sequías por: a) aptitud del suelo para su uso; b) dependencia de edad.

Datos: Diversas agencias nacionales de los países de la OTCA; los datos fueron suministrados por los Puntos focales de la OTCA; elaborado por Productos Geoespaciales de CIIFEN.

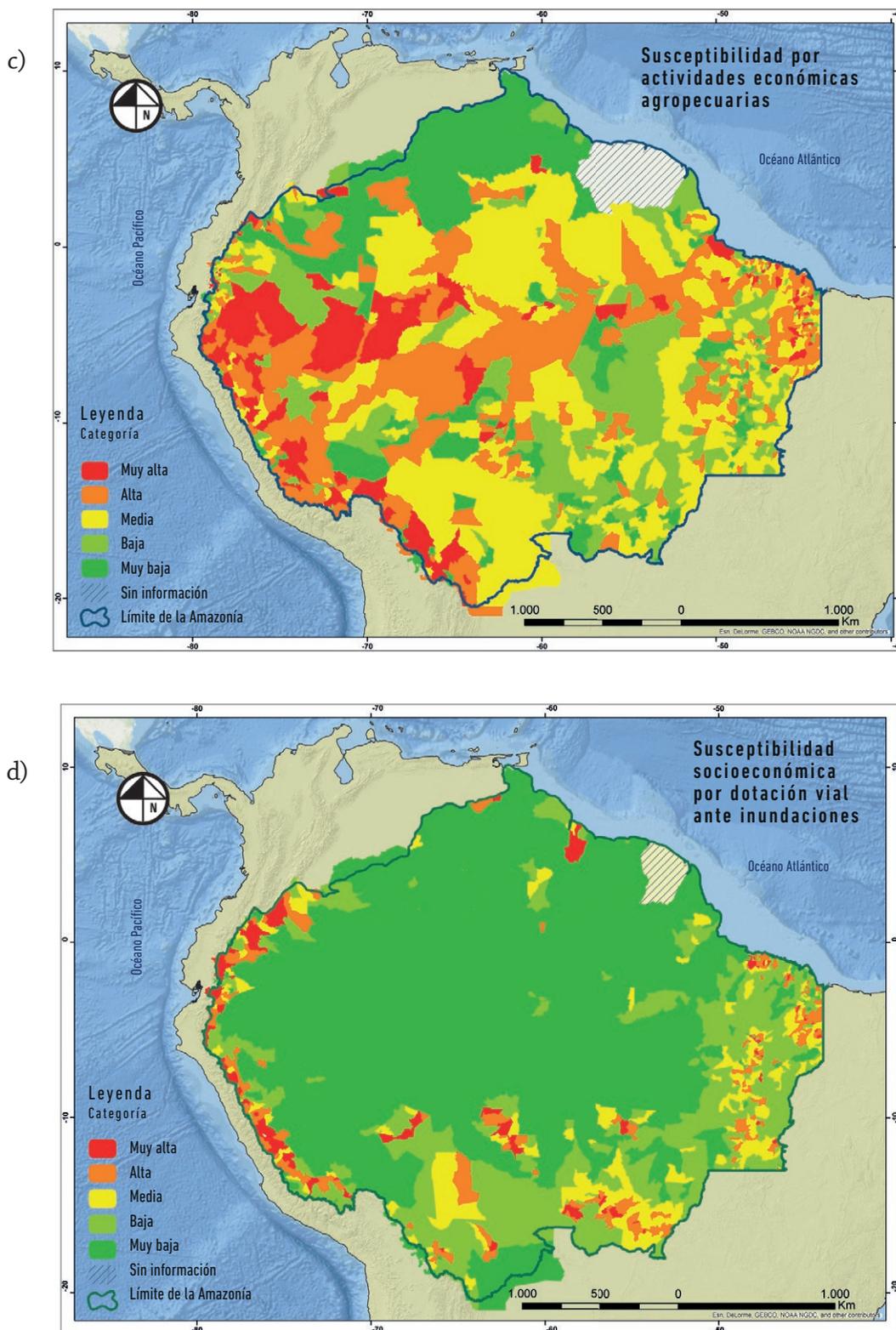


Figura 4. Continuación. c) población económicamente activa dedicada a actividades agropecuarias; d) dotación vial (solo ante inundaciones).

Datos: Diversas agencias nacionales de los países de la OTCA; los datos fueron suministrados por los Puntos focales de la OTCA; elaborado por Productos Geoespaciales de CIIFEN.

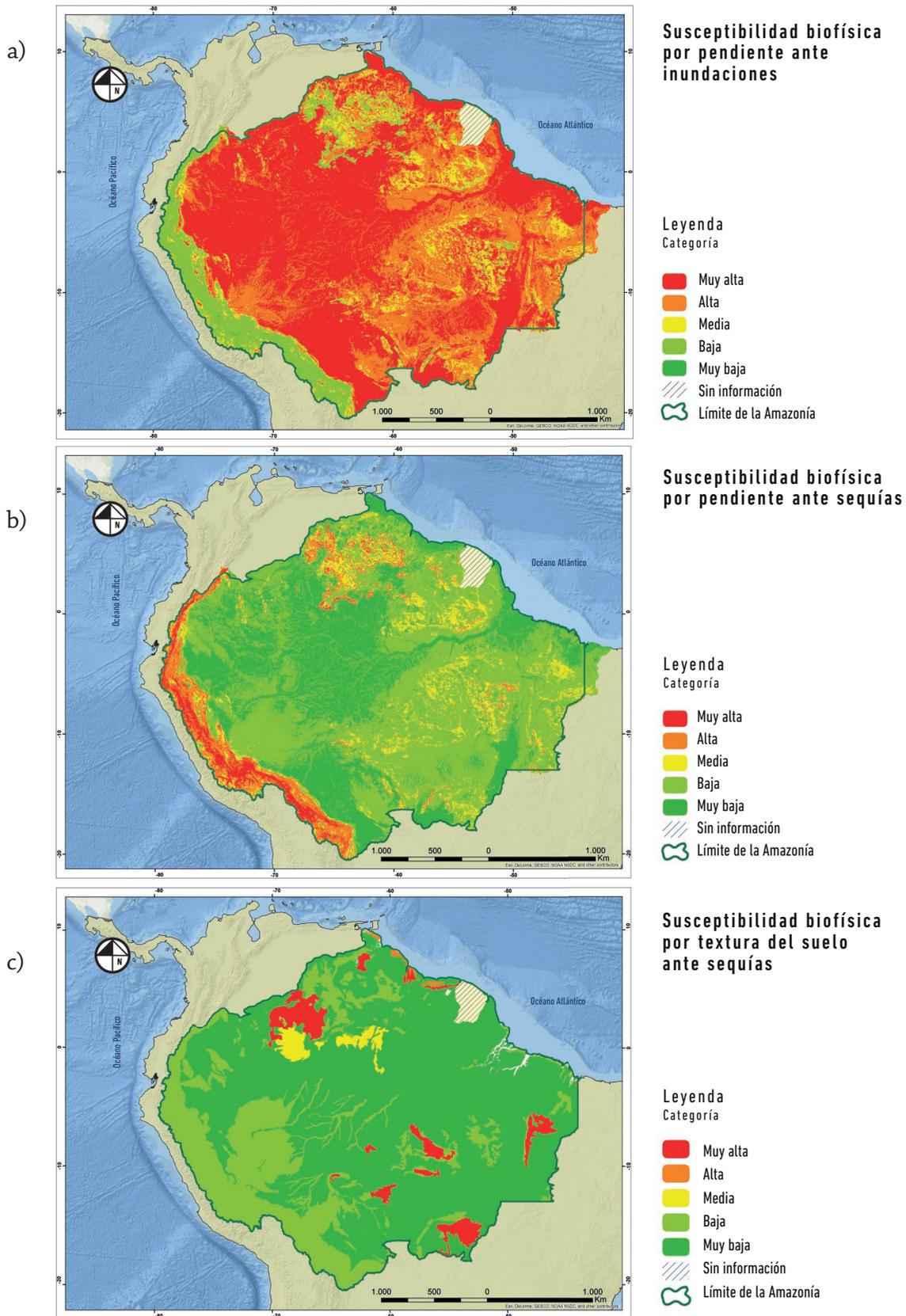


Figura 5. Susceptibilidad biofísica ante sequía (a, c, e) e inundación (b, d, f) por: a-b) pendiente del terreno; c-d) textura del suelo. Datos: Diversas agencias nacionales de los países de la OTCA; los datos fueron suministrados por los Puntos focales de la OTCA; elaborado por: Productos Geoespaciales de CIIFEN.

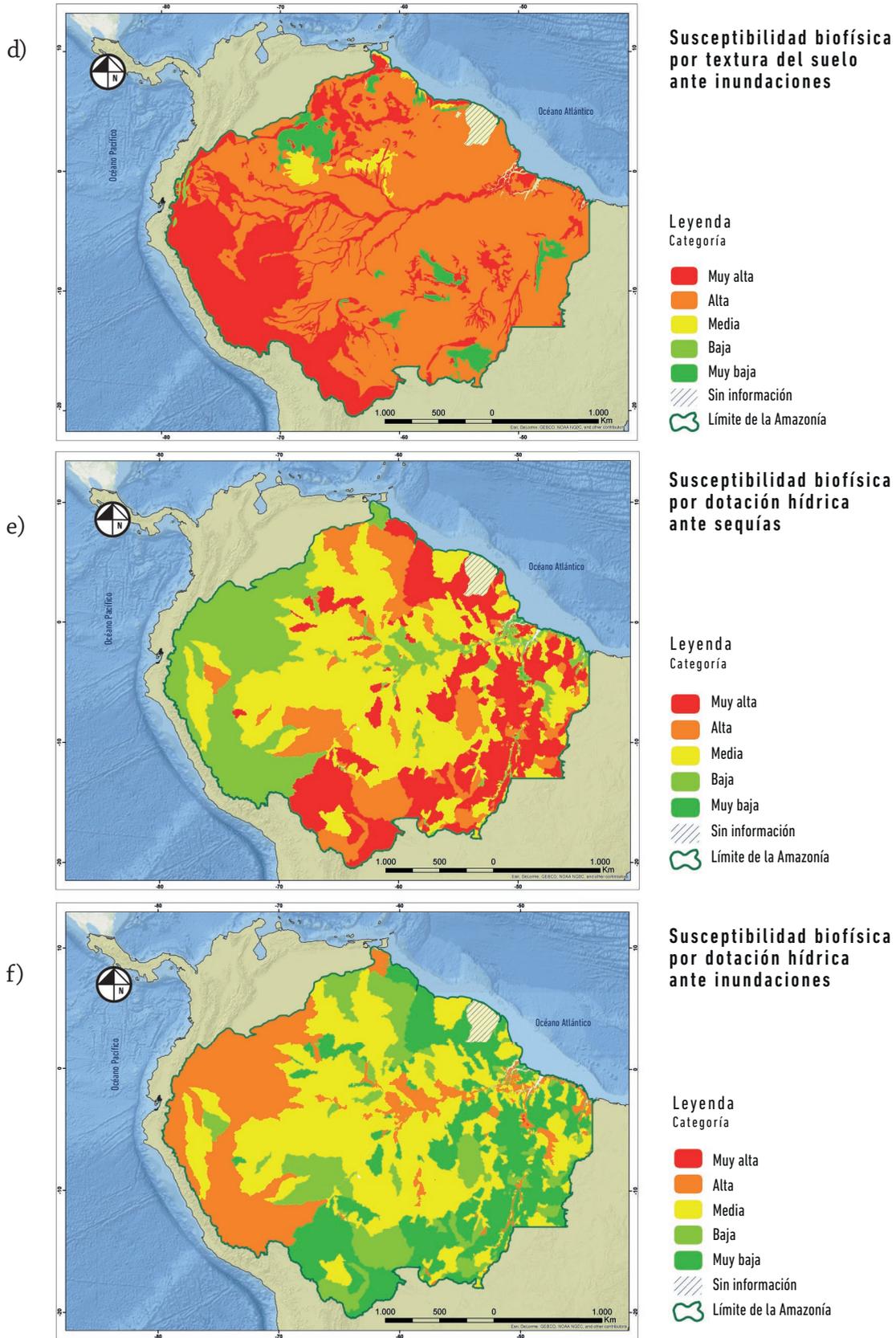


Figura 5. Continuación. c-d) textura del suelo; e-f) dotación hídrica.

Datos: Diversas agencias nacionales de los países de la OTCA; los datos fueron suministrados por los Puntos focales de la OTCA; elaborado por: Productos Geoespaciales de CIIFEN.

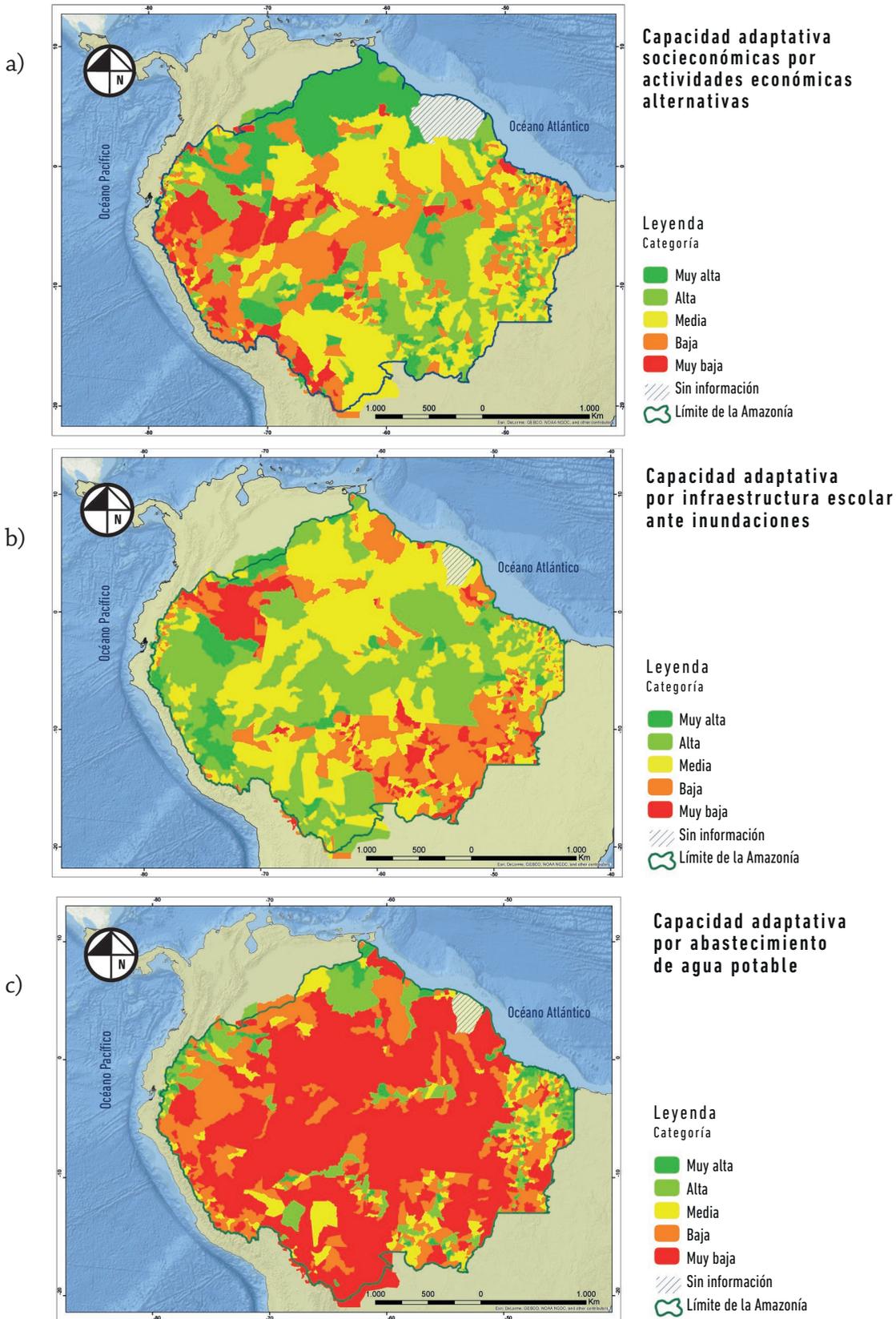


Figura 6. a) capacidad adaptativa por actividades económicas alternativas; b) infraestructura escolar ante inundaciones; c) abastecimiento de agua de red pública (ante sequías).
 Datos: Diversas agencias nacionales de los países de la OTCA; los datos fueron suministrados por los Puntos focales de la OTCA; elaborado por Productos Geoespaciales de CIIFEN.

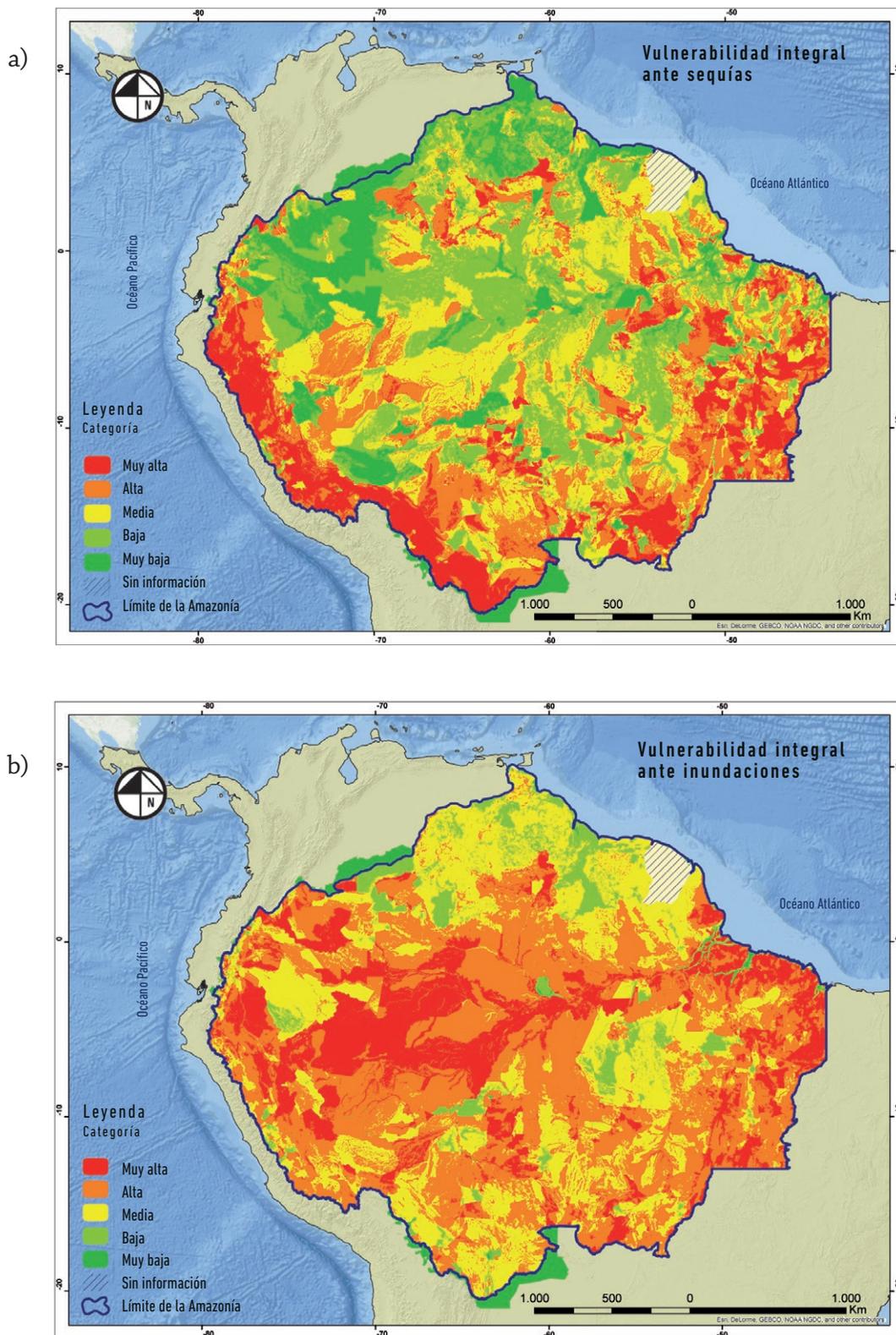


Figura 7. a) vulnerabilidad ante las sequías y b) ante las inundaciones en la cuenca amazónica. Datos: Diversas agencias nacionales de los países de la OTCA; los datos fueron suministrados por los Puntos focales de la OTCA; elaborado por Productos Geospaciales de CIIFEN.

Conclusiones

En el clima de la cuenca amazónica se presenta una variedad de fenómenos hidrometeorológicos e hidroclimáticos extremos que afectan el sistema socioeconómico de la región y, en ocasiones, generan situaciones de desastre. De las múltiples contingencias observadas en la Amazonía, las sequías y las inundaciones son los fenómenos hidroclimáticos extremos de mayor relevancia, por la cobertura espacial y por la magnitud de los impactos sobre la población y el sistema socioeconómico asentado en la cuenca.

Las sequías y las inundaciones son una expresión de fases extremas de la variabilidad climática interanual e interdecadal, que para la cuenca amazónica está controlada principalmente por procesos que ocurren en el sector tropical de los océanos Pacífico y Atlántico. Algunas de las sequías más intensas han estado asociadas a las anomalías climáticas que genera el fenómeno de El Niño, otras se han asociado a condiciones anómalas en el Atlántico tropical; algunos eventos de inundaciones destacadas ocurrieron bajo las condiciones del fenómeno de La Niña, otras por alguna situación particular en la diferencia de la temperatura entre el sector tropical y subtropical del Atlántico sur.

Las sequías y las inundaciones afectan cíclicamente a la región, aunque no se tiene establecido un periodo exacto. La variabilidad de la precipitación que regula la recurrencia de estos fenómenos hidroclimáticos presenta una mayor frecuencia de sus valores extremos en el sur de la cuenca (Amazonía boliviana y un sector entre Bolivia y Brasil); la zona con la menor frecuencia de estos eventos extremos es el sector noroccidental: la región amazónica de Venezuela, Colombia, Ecuador y del norte de Perú.

La sequía suscita amenazas especialmente para los sistemas agropecuarios y la población (debido a los problemas para el abastecimiento de agua). Las inundaciones, además de ser amenaza para el sector agropecuario y la población, también pueden provocar daños a la infraestructura que sirve a la población y al sistema socioeconómico establecido en diferentes sectores de la cuenca. De esta manera, la mayor amenaza por sequía se sitúa en el sur, en las zonas de las grandes extensiones agropecuarias del sur Brasil, sectores de la parte alta de la cuenca en los Andes bolivianos; la mayor amenaza por sequía para la población está en una amplia franja que cubre los límites entre Bolivia y Brasil, la parte andina de la cuenca en Bolivia y Perú.

La amenaza por inundaciones se localiza a lo largo de los ríos en donde se extienden cultivos, infraestructura y asentamientos humanos. Esta amenaza es especialmente alta en la región donde se extienden los cultivos y pastos al sur de Brasil y en segmentos del río Amazonas y sus afluentes principales. Las inundaciones también son una amenaza para la infraestructura y para los asentamientos situados a lo largo de los grandes tributarios del río Amazonas y sobre este, así como en las zonas planas de la Amazonía boliviana.

El análisis del estado de los sistemas expuestos a los embates de la sequía señaló que la vulnerabilidad es mayor en la parte alta andina (Amazonía boliviana, peruana y ecuatoriana), en el sector de la cuenca del río Juruena (tributario del Tapajós) y en el oriente, sobre un amplio sector entre las cuencas de Xingú y Tocantins, así como en el norte, en un pequeño sector correspondiente a la parte alta del río Branco. Para las inundaciones, se encontró que la mayor vulnerabilidad se ubica en un amplio sector del sureste, en localizaciones a lo largo del río Amazonas y en el piedemonte de los Andes; toda la zona plana contigua al río Amazonas o de sus afluentes presenta vulnerabilidad alta o muy alta.

La frecuencia y la intensidad de los eventos hidroclimáticos extremos de la cuenca amazónica podrían tener alguna modificación, debido al actual calentamiento global y al cambio climático. Según algunos estudios, el clima en la cuenca amazónica se está haciendo más cálido y, en general, un poco más húmedo, a excepción de algunos puntos en los que está ocurriendo una ligera tendencia a menos precipitación; sin embargo, otros análisis no han encontrado una tendencia clara en la precipitación a largo plazo. En el futuro, diversos escenarios de cambio climático plantean un calentamiento que podría estar en 3° a 4° a finales del siglo XXI y un incremento de la precipitación, especialmente en el sector noroccidental de la cuenca. Bajo estos cambios, la variabilidad de la precipitación en la escala interanual e interdecadal podría mantenerse como en la actualidad y tal vez se presentaría un ligero aumento de la frecuencia de las inundaciones.

Reconocimientos

Este trabajo se realizó en el Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno de El Niño (CIIFEN), en el marco del proyecto Manejo integrado y sostenible de los recursos hídricos transfronterizos de la cuenca del Río Amazonas, considerando la variabilidad y el cambio

climático o Proyecto GEFAMAZONAS - Recursos hídricos y cambio climático, que desarrolla la Organización del Tratado de Cooperación Amazónica (OTCA), con el apoyo del Global Environmental Facility (GEF).

Referencias

- Ambrizzi, Tércio, Rosmeri Porfírio da Rocha R. José A. Marengo, Igor Pisnitchenko, Lincoln M. Alves, y Julio P. R. Fernandez. 2007. *Cenários regionalizados de clima no Brasil para o Século XXI: Projeções de clima usando três modelos regionais*. Relatório 3 de *Mudanças Climáticas Globais e Efeitos sobre a Biodiversidade*, Sub projeto: *Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do Século XXI*. Brasil: Ministério do Meio Ambiente - MMA, Secretaria de Biodiversidade e Florestas - SBF, Diretoria de Conservação da Biodiversidade - DCBio
- Brando, Paulo M., Scott J. Goetz, Alessandro Baccini, Daniel C. Nepstad, Pieter S. A. Beck, y Mary C. Christman. 2010. "Seasonal and Interannual Variability of Climate and Vegetation Indices Across the Amazon." *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America - PNAS* 107 (33): 14685-14690.
- Cardona, Omar Darío. 2004. "The Need for Rethinking the Concepts of Vulnerability and Risk from a Holistic Perspective: A Necessary Review and Criticism for Effective Risk Management." En *Mapping Vulnerability Disasters, Development & People*, editado por Greg Bankoff, Georg Frerks y Dorothea Hilhorst, 37-51. Londres: Earthscan.
- CIIFEN (Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno de El Niño). 2014. *Análisis de vulnerabilidad socioeconómica y ambiental frente al cambio climático en la cordillera costera, Ecuador*. Guayaquil: CIIFEN - Proyecto Enfrentando el Cambio Climático en la Cordillera Costera.
- CIIFEN. 2015. *Atlas de vulnerabilidad hidroclimática de la cuenca amazónica*. Informe técnico sobre la elaboración del atlas. Guayaquil: CIIFEN.
- Corporación OSSO. 2013. "DESINVENTAR: Sistema de inventario de efectos de desastres." Consultado en noviembre del 2014. <http://www.desinventar.org/es/database>.
- Defesa Civil do Brasil, Ministério da Integração Nacional, y Governo Federal. 2014. "S2iD - Sistema Integrado de Informações sobre Desastres." Consultado en noviembre de 2014. <http://s2id.mi.gov.br/>.
- Edwards, Daniel, y Thomas McKee. 1997. *Characteristics of 20th Century Drought in the United States at Multiple Time Scales*, vol. 634 de la serie *Atmospheric Science*. Fort Collins: Colorado State University.
- Espinoza, Jhan Carlo, Josyane Ronchail, Jean Loup Guyot, Gerard Cochonneau, Filizola Naziano, Waldo Lavado, Eurides de Olivera, Rodrigo Pombosa, y Phillippe Vauchel. 2009. "Spatio-Temporal Rainfall Variability in the Amazon Basin Countries (Brazil, Perú, Bolivia, Colombia, and Ecuador)." *International Journal of Climatology* 29:1574-1594. doi: 10.1002/joc.1791.
- Espinoza, Jhan Carlo, José Antonio Marengo, Josyane Ronchail, Jorge Molina Carpio, Luis Noriega Flores, y Jean Loup Guyot. 2014. "The Extreme 2014 Flood in South-Western Amazon Basin: The Role of Tropical-Subtropical South Atlantic SST Gradient." *Environmental Research Letters* 9 (124007).
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2012. *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation: Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, editado por Christopher B. Field, Vicente Barros, Thomas F. Stocker, Qin Dahe, David Jon Dokken, Kristie L. Ebi, Michael D. Mastrandrea, Katharine J. Mach, Gian-Kasper Plattner, Simon K. Allen, Melinda Tignor y Pauline M. Midgley. Cambridge: Cambridge University Press.
- IPCC. 2013. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis; Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, editado por Thomas F. Stocker, Qin Dahe, Gian-Kasper Plattner, Melinda Tignor, Simon K. Allen, Judith Boschung, Alexander Nauels, Yu Xia, Vincent Bex y Pauline M. Midgley. Cambridge: Cambridge University Press.
- IPCC. 2014. *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability; Part A, Global and Sectoral Aspects*, editado por Christopher B. Field, Vicente R. Barros, David Jon Dokken, Katharine J. Mach, Michael D. Mastrandrea, T. Eren Bilir, Monalisa Chatterjee, Kristie L. Ebi, Yuka Otsuki Estrada, Robert C. Genova, Betelhem Girma, Eric S. Kissel, Andrew N. Levy, Sandy MacCracken, Patricia R. Mastrandrea y Leslie L. White. Cambridge: Cambridge University Press.
- Labat, David, Josyane Ronchail, Jacques Calède, Jean Loup Guyot, Eurides de Olivera, y Waldemar Guimarães. 2004. "Wavelet Analysis of the Amazon Hydrological Regime Variability." *Geophysical Research Letters* 31 (2): L02501. doi: 10.1029/2003GL018741.
- Liebman, Brant, y José A. Marengo. 2001. "Interannual Variability of the Rainy Season and Rainfall in the Brazilian Amazon Basin." *Journal of Climate* 14:4308-4318. doi: 10.1175/1520-0442(2001)014<4308:IVOTRS>2.0.CO;2.
- Marengo, José A. 2004. "Interdecadal Variability and Trends of Rainfall Across the Amazon Basin." *Theoretical and Applied Climatology* 78 (1-3): 79-96. doi: 10.1007/s00704-004-0045-8.

- Marengo, José A. 2009. "Long-Term Trends and Cycles in the Hydrometeorology of the Amazon Basin Since the Late 1920s." *Hydrological Processes* 23 (22): 3236-3244. doi: 10.1002/hyp.7396.
- Marengo, José A., y Stefan Hastenrath. 1993. "Case Studies of Extreme Climatic Events in the Amazon Basin." *Journal of Climate* 6:617-627. doi: 10.1175/1520-0442(1993)06<0617:CSOECE>2.0.CO;2.
- Marengo, José A., Brant Liebman, Vernon E. Kousky, Naziano P. Filizola, e Ilana C. Wainer. 2001. "Onset and End of the Rainy Season in the Brazilian Amazon Basin." *Journal of Climate* 14 (5): 833-852. doi: 10.1175/1520-0442(2001)014<0833:OAEOTR>2.0.CO;2.
- Marengo, José A., Javier Tomasella, Lincoln M. Alves, Wagner R. Soares, y Daniel A. Rodriguez. 2011. "The Drought of 2010 in the Context of Historical Droughts in the Amazon Region." *Geophysical Research Letters* 38 (12): L12703. doi:10.1029/2011GL047436.
- Marengo, José A., Laura S. Borma, Daniel A. Rodríguez, Patricia Pinho, Wagner R. Soares, y Lincoln M. Alvez. 2013. "Recent Extremes of Drought and Flooding in Amazonia: Vulnerabilities and Human Adaptation." *American Journal of Climate Change* 2 (2): 87-96. doi: 10.4236/ajcc.2013.22009.
- McKee, T. B., N. J. Doesken, y J. Kleist. 1993. "The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scale." En *Proceedings of the Eighth Conference on Applied Climatology: January 17-22, Anaheim, California*, 179-184. Boston: American Meteorological Society.
- McKee, T. B., N. J. Doesken, y J. Kleist. 1995. "Drought Monitoring With Multiple Time Scales." En *Proceedings of the Ninth Conference on Applied Climatology: 15-20 January 1995, Dallas, TX*, 233-236. Boston: American Meteorological Society.
- Nobre, Carlos A., Gilvan Sampaio, y L. F. Salazar. 2009. "Cenários de mudança climática en la Amazônia y América do Sul para o final do século XXI." En *Amazonia y agua: desarrollo sostenible en el siglo XXI*, coordinado por Hernando Bernal Zamudio, Carlos Hugo Sierra, Mario Angulo Tarancón, Miren Onaindia Olalde, 39-58. España: Ediciones Unesco Etxea.
- OFDA (Office of U.S. Foreign Disaster Assistance), y CRED (Centre for Research on the Epidemiology of Disasters). 2009. "EM-DAT: The International Disaster Database." Consultado en febrero de 2015. http://www.emdat.be/country_profile/index.html
- OTCA (Organización del Tratado de Cooperación Amazónica). 1993. *Situación general de la conservación de la biodiversidad en la región amazónica, documento SPT-TCA-ECU-20*. Quito: Secretaría Pro Tempore del Ecuador. <http://www.otca-oficial.info/assets/documents/20161220/cb4d68dd2a18a-5c48505acf376055cbe.pdf>.
- Saatchi, Sassan, Salvi Asefi-Najafabady, Yadvinder Malhi, Luis E. O. C. Aragão, Liana O. Anderson, Ranga B. Myneni, y Ramakrishna Nemani. 2013. "Persistent Effects of Severe Drought on Amazonian Forest Canopy." *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America - PNAS* 110 (2): 565-570. doi: 10.1073/pnas.1204651110.
- Skansi, María, Manola Brunet, Javier Sigró, Enric Aguilar, Juan Andrés Arévalo Groening, Oscar J. Betancur, Yaruska Rosa Castellón Geier, Ruth Leonor Corre-Amaya, Home-ro Jácome, Andrea Malheiros Ramos, Clara Oria Rojas, Alejandro Max Pasten, Sukarni Sallons Mitro, Claudia Villaroel Jiménez, Rodney Martínez, Lisa V. Alexander, y P. D. Jones. 2013. "Warming and Wetting Signals Emerging from Analysis of Changes in Climate Extreme Indices Over South America." *Global and Planetary Change* 100:295-307. doi: 10.1016/j.gloplacha.2012.11.004.
- Souza, Everaldo B. de, y Tércio Ambrizzi. 2006. "Modulation of the Intraseasonal Rainfall Over Tropical Brazil by the Madden-Julian Oscillation." *International Journal of Climatology* 26:1759-1776. doi: 10.1002/joc.1331.
- UNICEF (Fondo Internacional de Emergencia de las Naciones Unidas para la Infancia), y FUNPROEIB (Fundación para la Educación en Contextos de Multilingüismo y Pluriculturalidad). 2009. *Atlas socio lingüístico de pueblos indígenas en América Latina*. Ciudad de Panamá: UNICEF y FUNPROEIB.
- Valverde, Maria, y José A. Marengo. 2011. "Rainfall Extreme Events Climatology over the Amazon Basin." Ponencia presentada en *The Global Conference on Global Warming 2011*, Lisboa, 11 al 14 de julio.
- Vicente-Serrano, Sergio M, Santiago Beguería, Jorge Lorenzo-Lacruz, Jesús Julio Camarero, Juan I. López-Moreno, César Azorín-Molina, Jesús Revuelto, Enrique Morán-Tejeda, y Arturo Sánchez-Lorenzo. 2012. "Análisis comparativo de diferentes índices de sequía para aplicaciones ecológicas, agrícolas e hidrológicas." Ponencia presentada en el *8 Congreso Internacional de la Asociación Española de Climatología: Cambio Climático, Extremos e impactos*, 679-689. Salamanca, España, 25 al 28 de septiembre.
- Zeng, Ning. 1999. "Seasonal Cycle and Interannual Variability in the Amazon Hydrological cycle." *Journal of Geophysical Research* 104 (D8): 9097-9106.

José Daniel Pabón-Caicedo

Meteorólogo y Ph.D. en Geografía del Instituto Hidrometeorológico de Odessa (Ucrania). Actualmente es profesor asociado del Departamento de Geografía, Facultad de Ciencias Humanas de la Universidad Nacional de Colombia (Bogotá). Lidera el grupo de investigación Tiempo, clima y sociedad, adscrito al Departamento de Geografía. Se ocupa del estudio de la variabilidad climática y del cambio climático, así como de las amenazas y riesgos de desastres originados por fenómenos hidrometeorológicos e hidrológicos extremos.

Rosa del Pilar Ycaza

Magíster en Ciencias Oceanográficas del Instituto Hidrometeorológico de Odessa (Ucrania), en Manejo de Recursos Naturales Renovables de la Universidad Agraria del Ecuador y en Teledetección, métodos y aplicaciones en el GDIA2 de la Universidad de Paris VI - Toulouse III y la Escuela Nacional de Ciencias Geográficas (Francia). Sus áreas de acción son la teledetección, sistemas de información geográfica, oceanografía, hidrología (manejo de cuencas hidrográficas), planes de desarrollo y cartografía, vulnerabilidad y riesgos. Actualmente es jefe del Área de Servicios Geoespaciales del Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno de El Niño (CIIFEN).

Fanny Friend

Ingeniera Ambiental de la Universidad Agraria del Ecuador, con experticia en la aplicación de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) en análisis de vulnerabilidad y riesgo, y procesamiento de imágenes satelitales aplicados al manejo de recursos naturales. Se desempeña como especialista en SIG en el CIIFEN.

Diana Espinoza

Ingeniera Geóloga de la Escuela Superior Politécnica del Litoral - ESPOL (Ecuador), con experticia en análisis espacial con Sistemas de Información Geográfica (SIG) y en procesamiento de imágenes satelitales para diversos estudios. Se desempeña como especialista en SIG en el CIIFEN.

Norbert Fenzl

Geólogo de la Universidad de Viena (Austria), Doctor en Hidrogeología y Ciencias Ambientales y Posdoctorado de esa misma universidad. Actualmente es investigador y profesor titular de la Universidad Federal de Pará (Brasil), Núcleo de Medio Ambiente (NUMA). Su área de trabajo es la gestión integrada de recursos hídricos y ciencias ambientales, desarrollo sostenible, gestión de recursos hídricos, Amazonía, medio ambiente, metodología de investigación interdisciplinaria y teoría de sistemas complejos. Autor de diversos libros sobre medio ambiente y teoría de sistemas. Coordinador técnico del Proyecto GEF Amazonas: recursos hídricos y cambio climático (OTCA/ONU Medio Ambiente/GEF) que se desarrolla en la Organización del Tratado de Cooperación Amazónica (OTCA).

María Apostolova

Magíster en Política Pública Internacional (MIPP) de la Universidad George Washington / Elliot School of International Affairs (ESIA), con énfasis en Política Ambiental y Cooperación Internacional, y Magíster en Política Internacional de la Universidad de Brasilia - UnB (Brasil). Coordinadora Regional del Proyecto GEF Amazonas: recursos hídricos y cambio climático (OTCA/ONU Medio Ambiente/GEF) que se desarrolla en la Organización del Tratado de Cooperación Amazónica (OTCA).