

Índice

Presentación	7
Participación laboral femenina y disponibilidad de guarderías públicas en el Brasil	13
<i>Helena Cruz Castanheira</i>	
La expansión educativa en la Argentina, Chile y el Uruguay y su incidencia en la edad al primer nacimiento	41
<i>Mathías Nathan</i>	
¿“Ni muy muy ni tan tan”? Situación y evolución de la natalidad de la provincia de Córdoba (Argentina) en el contexto de la pandemia de COVID-19	73
<i>Bruno Ribotta, Enrique Peláez, Laura Acosta, Lucía Andreozzi, Leandro González, Lucas Vanoli Faustinelli, Malena Piancatelli</i>	
Seguridad alimentaria e informalidad laboral: un estudio de hogares mexicanos a nivel estatal (2018-2022)	91
<i>Daniel Lozano Keymolen, Sergio Cuauhtémoc Gaxiola Robles Linares</i>	
Un enfoque secuencial y espacial a las precipitaciones extremas y las condiciones sociodemográficas relacionadas con los desastres naturales en la región semiárida del Brasil	111
<i>Gilvan Guedes, Kenya Valeria Micaela de Souza Noronha, Lara de Melo Barbosa Andrade, Daniele Tôrres Rodrigues, Albert Smith Feitosa Suassuna Martins</i>	
Estabilidad de las cohabitaciones conyugales en México: cambios y permanencias en el tiempo	149
<i>Justo Rojas López</i>	
El gradiente educativo de la disolución conyugal en el Ecuador	173
<i>Adriana Robles</i>	
Familia multinuclear, ¿la nueva forma de la recomposición familiar?: una estimación a partir de la información proporcionada por los hijos en México	193
<i>Carlos Fernández Moreno</i>	

Un enfoque secuencial y espacial a las precipitaciones extremas y las condiciones sociodemográficas relacionadas con los desastres naturales en la región semiárida del Brasil

Gilvan Guedes¹

Kenya Valeria Micaela de Souza Noronha²

Lara de Melo Barbosa Andrade³

Daniele Tôrres Rodrigues⁴

Albert Smith Feitosa Suassuna Martins⁵

Recibido: 12/03/2024

Aceptado: 19/04/2024

Resumen

La región semiárida del Brasil ha sido tradicionalmente una zona homogénea en lo referido a su escaso desarrollo socioeconómico y déficits de precipitaciones. Sin embargo, la distribución temporal y espacial de los desastres, de los fenómenos meteorológicos extremos y de los atributos demográficos presenta varios matices.

¹ Departamento de Demografía, Centro de Desarrollo y Planificación Regional (CEDEPLAR), Universidad Federal de Minas Gerais, Brasil. Correo electrónico: gilvan@epopea.com.br.

² Departamento de Economía, Centro de Desarrollo y Planificación Regional (CEDEPLAR) Universidad Federal de Minas Gerais, Brasil. Correo electrónico: knoronha@cedeplar.ufmg.br.

³ Departamento de Ciencias Atmosféricas y Climáticas, Universidad Federal de Río Grande del Norte (UFRN), Brasil. Correo electrónico: lara.ufrn@gmail.com.

⁴ Departamento de Estadística, Universidad Federal de Piauí, Brasil. Correo electrónico: mspdany@yahoo.com.br.

⁵ Programa de Posgrado en Ciencias Climáticas, Departamento de Ciencias Atmosféricas y Climáticas, Universidad Federal de Río Grande del Norte (UFRN), Brasil. Correo electrónico: albert.suassuna.018@ufrn.edu.br.

En este artículo se examina la interrelación entre estas tres dimensiones en la región semiárida del Brasil. Definimos cuatro perfiles: 1) zonas empobrecidas altas propensas a las sequías y a las inundaciones repentinas, 2) zonas empobrecidas propensas a las sequías, 3) zonas empobrecidas bajas propensas a las inundaciones y 4) zonas altas propensas a los desastres. Estos resultados sugieren que la región es más heterogénea en lo referido a sus características climáticas y geofísicas que en sus rasgos socioeconómicos y demográficos. Si bien en los cuatro perfiles definidos se observa susceptibilidad a las sequías, el tercero también se caracteriza por la marcada vulnerabilidad a inundaciones.

Palabras clave: cambio climático, desastres naturales, lluvia, inundaciones, sequía, aspectos sociales, aspectos demográficos, condiciones económicas, condiciones sociales, geografía regional, Brasil.

Abstract

Brazil's semi-arid region has been historically homogeneous in terms of limited socioeconomic development and precipitation deficits. However, the temporal and spatial distribution of disasters, extreme weather events and demographic attributes is more nuanced. This article examines the interrelationship among these three dimensions in the semi-arid region of Brazil. Four profiles are defined: (1) impoverished highland areas prone to droughts and flash floods; (2) impoverished areas prone to droughts; (3) impoverished low-lying areas prone to floods and (4) disaster-prone highland areas. The results suggest that the region is more heterogeneous in its climatic and geophysical characteristics than in its socioeconomic and demographic features. Although susceptibility to drought is observed across the four profiles, the third profile is also characterized by an acute vulnerability to flooding.

Keywords: climate change, natural disasters, rain, floods, drought, social aspects, population aspects, economic conditions, social conditions, regional geography, Brazil.

Résumé

La région semi-aride du Brésil est traditionnellement une zone homogène en termes de faible développement socioéconomique et de déficits pluviométriques. La répartition temporelle et spatiale des catastrophes, des phénomènes météorologiques extrêmes et des caractéristiques démographiques est toutefois nuancée. Cet article étudie les interactions entre ces trois dimensions dans la région semi-aride du Brésil. Quatre profils ont été définis : 1) les zones paupérisées fortement sujettes à la sécheresse et aux crues soudaines, 2) les zones paupérisées sujettes à la sécheresse, 3) les zones paupérisées faiblement sujettes aux inondations et 4) les zones fortement sujettes aux catastrophes. Ces résultats suggèrent que la région est plus hétérogène en termes de caractéristiques climatiques et géophysiques qu'en termes de caractéristiques socioéconomiques et démographiques. Si la vulnérabilité à la sécheresse est présente dans les quatre profils définis, le troisième profil se caractérise également par une vulnérabilité prononcée face aux inondations.

Mots clés : changements climatiques, catastrophes naturelles, pluie, inondations, sécheresse, aspects sociaux, aspects démographiques, conditions économiques, conditions sociales, géographie régionale, Brésil.

Introducción

El debate científico y político en torno a las causas y las consecuencias del cambio climático ha cobrado prominencia en las últimas décadas debido a la manifestación y la ubicuidad de sus consecuencias ambientales y sociales (IPCC, 2023; Domingues, 2023). El cambio climático, un fenómeno de alcance mundial y, hasta cierto grado, impredecible, trasciende las fronteras geográficas. Sus efectos se manifiestan a corto y largo plazo, y sus consecuencias intergeneracionales abarcan múltiples dimensiones, entre ellas la económica (Raad, Guedes y Vaz, 2019), la social (Mah y otros, 2023), la cultural (Yaworsky, Hussain y Riede, 2023) y la sanitaria (Menezes y otros, 2018; Andrade y otros, 2021). Las investigaciones sobre las repercusiones del cambio climático y la aplicación de políticas dirigidas a mitigar sus efectos son prioridades fundamentales, habida cuenta de los desafíos presentes y futuros en torno a la preservación del bienestar social (Confalonieri, 2009; Raad, Guedes y Vaz, 2019).

El IPCC (2023) destaca la incidencia directa del cambio climático en las variaciones de los patrones meteorológicos mundiales en diferentes escalas temporales y espaciales. A ese respecto, los cambios en la temperatura atmosférica y en los patrones de las precipitaciones han aumentado en frecuencia e intensidad (Tian, Wood y Yuan, 2017; PBMC, 2014). En un contexto de agravamiento del cambio climático, se observa una creciente tendencia hacia los fenómenos meteorológicos extremos (temperaturas y precipitaciones extremas), que se asocian con cambios en los patrones atmosféricos (Marengo, 2009; Marengo y otros, 2021).

Los fenómenos meteorológicos extremos pueden desencadenar desastres naturales, pero los efectos de estas catástrofes en las poblaciones humanas varían en función del contexto, y dependen de la geografía, la densidad demográfica, la infraestructura y las condiciones socioeconómicas de las regiones afectadas (Barbieri y Pan, 2022). Si bien el término “desastre natural” parece restar importancia a la incidencia de las poblaciones humanas y su contexto, los estudios más críticos y recientes en materia de investigaciones sobre los desastres reconocen sin ambages que hasta en los desastres provocados por causas naturales, la presencia humana y las condiciones sociales preexistentes son los principales factores que convierten un peligro en un desastre (Valencio, Valencio y Baptista, 2023). Además, la percepción de los riesgos negociada socialmente y la red socialmente construida ayudan a definir y modificar los aspectos referidos a la percepción, la intensidad y la capacidad de respuesta frente a los desastres (Oliver-Smith, 2022).

Los perjuicios ocasionados por los desastres naturales tienden a aumentar en las zonas con mayores niveles de vulnerabilidad socioambiental. La noción de vulnerabilidad socioambiental supone una interrelación entre la vulnerabilidad biofísica (entendida como los peligros y fenómenos extremos) y la social (que se refiere a las condiciones del contexto social y económico del sistema socioecológico que transforman los peligros en desastres) (O'Brien y otros, 2007; Gupta y otros, 2020). Incluso dentro de la misma sociedad, las repercusiones de los desastres naturales pueden variar considerablemente entre los diversos grupos socioeconómicos (Pielke y Carbone, 2002). Pueden causar daños irremediables —como la pérdida de vidas—, además de daños difusos que se traducen en lesiones, en la privación de la vivienda, en pérdidas económicas y en perjuicios ambientales (Botzen,

Deschenes y Sanders, 2020; Guedes, Raad y Raad, 2019). En varios estudios se ha hecho hincapié en la importancia de tener en cuenta las dimensiones sociales al investigar las repercusiones de los desastres naturales (Valencio, 2014; Menezes y otros, 2018; Andrade y otros, 2021; Marengo, Rodrigues-Filho y Santos, 2021; Valencio, Valencio y Baptista, 2023).

El Brasil se cuenta entre los países donde se observan los patrones del cambio climático que más contribuyen al aumento en el número de precipitaciones extremas (Mutti y otros, 2020) y, en consecuencia, a la intensificación de los desastres naturales (CEPED, 2012; Palharini y otros, 2020; Medeiros, Lima y Santos, 2023). En décadas recientes, diversas zonas del país se han visto gravemente afectadas por desastres naturales, que han tenido profundas consecuencias en los planos humano y económico (Perez y otros, 2020; Rodrigues y otros, 2020; Freitas y otros, 2020; Palharini y otros, 2021). Si bien los desastres podrían variar en intensidad y afectar a las poblaciones a distintos grados, los 15.950 desastres naturales de tipo climático, geológico, hidrológico y meteorológico registrados en el Brasil entre 2000 y 2015 tuvieron un enorme costo económico para los residentes locales y el Gobierno. Los desastres hidrológicos, que incluyen las inundaciones fluviales, pluviales y repentinas, representaron la mayor parte de los costos (Freitas y otros, 2020).

Los riesgos de que ocurra un desastre se distribuyen espacialmente de forma desigual y en general son más altos en las zonas de ingreso bajo (De Coninck y otros, 2018; IBGE, 2018a). Este patrón espacial obedece en gran medida a que las poblaciones vulnerables no pueden huir de los peligros (Valencio, 2014). Por ende, las condiciones sociales preexistentes de las poblaciones afectadas representan una dimensión clave de los desastres y de sus consecuencias en los planos humano, social y económico. En el Brasil, la región del Nordeste es una de las más susceptibles del país al cambio climático (IPCC, 2022). La región alberga a la amplia mayoría de los territorios semiáridos del Brasil (89,5%) (IBGE, 2018b), donde se observan las tasas de desarrollo económico y social más bajas de entre todas las regiones del país (Lemos, 2012; Petersen y otros, 2020). Además, su vulnerabilidad podría obedecer a las características fisiográficas y climáticas de la región (PBMC, 2014), que se sitúa en la zona tropical y es la región semiárida más lluviosa del mundo (Alvares y otros, 2013; Hartmann, 2016). Si bien las proyecciones climáticas sugieren que el volumen de precipitaciones en la región semiárida del Brasil disminuirá, se prevé que, en función de la hipótesis considerada, entre 2081 y 2100 la temperatura aumentará entre 1,4 °C y 4,4 °C (IPCC, 2023), lo que podría traducirse en un aumento en la frecuencia y la intensidad de las precipitaciones extremas (Rodrigues y otros, 2020).

Varios estudios han examinado los fenómenos meteorológicos extremos en el Brasil (Torres y otros, 2012; Raad, Guedes y Vaz, 2019; Guedes, Raad y Raad, 2019; Freitas y otros, 2020). En estos estudios se utilizan series temporales meteorológicas para establecer correspondencias entre los comportamientos temporales de los desastres naturales y el momento y el lugar en que ocurren. Santos y otros (2020), Dos Santos y otros (2022) y Morales y otros (2023) se centran en la importancia de los índices de precipitaciones extremas, que son más idóneos que los datos meteorológicos para entender la evolución actual y futura de los desastres naturales relacionados con las precipitaciones. No obstante, estos estudios no establecen una relación directa entre los patrones de precipitaciones extremas y la ocurrencia de desastres naturales.

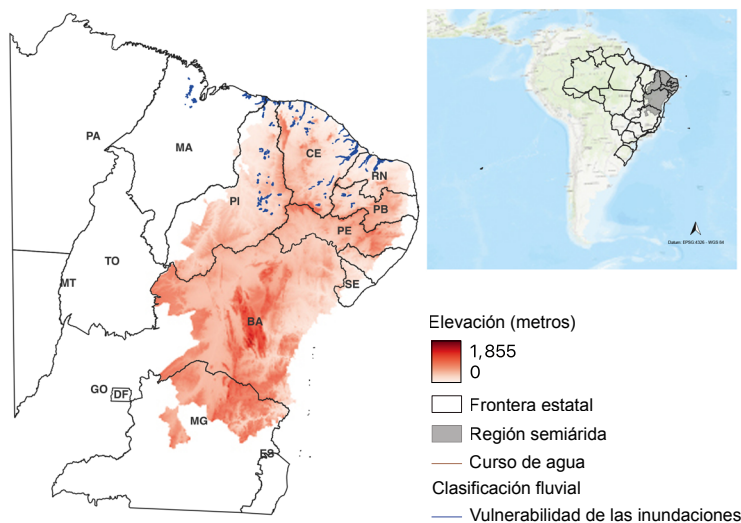
Este estudio busca examinar los desastres naturales hidrológicos en los municipios pertenecientes a la región semiárida del Brasil y determinar qué relación existe entre las precipitaciones extremas y los rasgos sociodemográficos y geofísicos. Para estudiar esta relación, se aplica el modelo estadístico multinomial de máxima probabilidad denominado grado de membresía (ML-GOM) (Erosheva, Fienberg y Joutard, 2007) a fin de determinar patrones a nivel municipal. El uso del modelo ML-GOM también es útil para observar la heterogeneidad interna de una región que tradicionalmente se ha considerado homogénea desde el punto de vista socioeconómico, ya que nos permite, por ejemplo, identificar grupos de municipios con rasgos socioeconómicos muy similares, pero con condiciones climáticas y patrones de desastres que difieren considerablemente.

A. Datos y métodos

1. Zona de estudio

La región semiárida del Brasil abarca una porción considerable de la región Nordeste (89,5%) y una sección pequeña de la región Sudeste (10,5%) del país (IBGE, 2018b). Se extiende a lo largo de 1.182.697 km² (SUDENE, 2017) y alberga una población estimada de 28.096.547 personas, lo que la transforma en una de las regiones semiáridas más pobladas del mundo (Freire, Gonzaga y Queiroz, 2019) (véase el mapa 1).

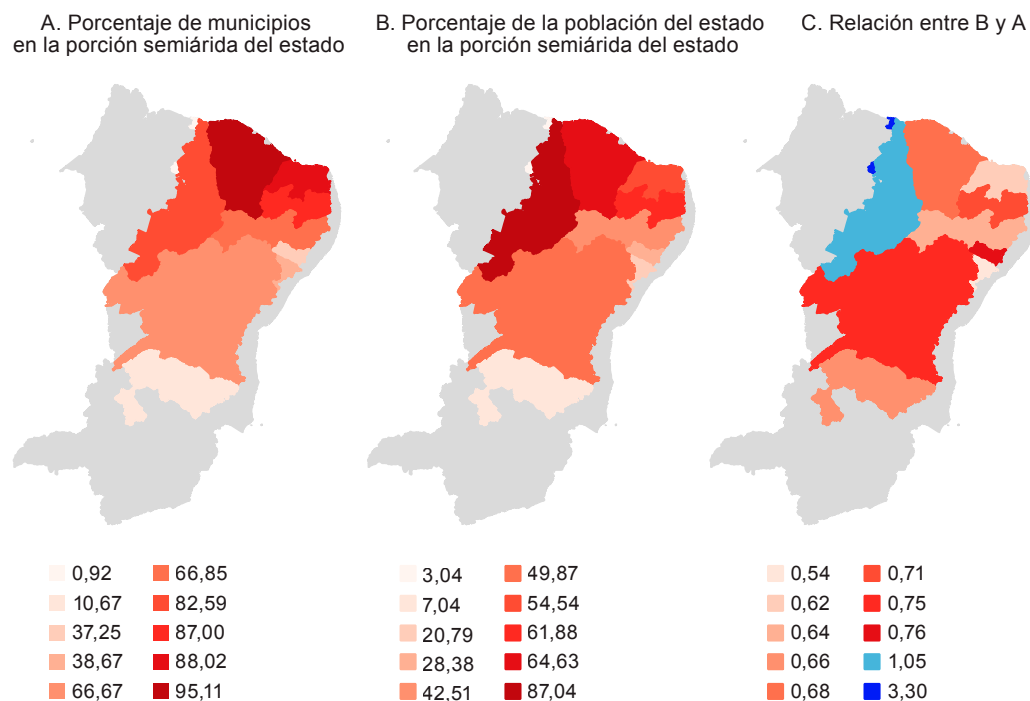
Mapa 1
Brasil: localización de la región semiárida



Fuente: Elaboración propia, sobre la base de C. A. Alvares y otros, "Köppen's climate classification map for Brazil", *Meteorologische Zeitschrift*, vol. 22, N° 6, 2013; e Instituto Brasileiro de Geografia y Estadística (IBGE), "Biomás", 2020 [en línea] <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/estudos-ambientais/15842-biomas.html?edicao=16060&t=downloads>.

Según el Censo Demográfico de 2010 del Brasil, un 63% de la población de la región semiárida reside en zonas urbanas (IBGE, 2010). En el mapa 2 (panel A) se observa que Ceará, Rio Grande do Norte y Paraíba son los estados con el mayor número de municipios ubicados en la región semiárida. Al mismo tiempo, la mayor parte de las poblaciones de Piauí, Ceará y Paraíba viven dentro de las fronteras de la región (véase el mapa 2, panel B). En el mapa 2 (panel B/A) se observa que Piauí es el único estado donde la proporción de la población que vive en la región semiárida es mayor que la proporción de municipios (relación entre B y A de 1,05), ya que la capital del estado (Teresina) se ubica en esta zona⁶. Se observa lo opuesto en Sergipe (relación de 0,54) y en Río Grande do Norte (relación de 0,62), donde la mayoría de las poblaciones reside cerca de la costa.

Mapa 2
Brasil: proporción de los municipios y población situados
en la región semiárida, por estado, 2010



Fuente: Instituto Brasileño de Geografía y Estadística (IBGE), "Censo Demográfico", 2010 [en línea] <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9662-censo-demografico-2010.html?edicao=9666&t=sobre> [fecha de consulta: 31 de julio de 2023].

La región semiárida brasileña se caracteriza por un clima predominantemente caluroso y seco, y registra temperaturas de entre 24 °C y 28 °C (Moscati y Gan, 2007), un porcentaje de déficit hídrico diario de un 60% o más, un índice Thornthwaite de aridez de hasta 0,5

⁶ Maranhão es el estado con el mayor índice entre B y A, pero no se señaló debido a que apenas dos de sus municipios se sitúan en la región semiárida.

(SUDENE, 2017) y un promedio anual de precipitaciones inferior a 800 mm (Rodrigues y otros, 2020; Dos Santos y otros, 2022). La región se caracteriza por una elevada variabilidad estacional (Valadão y otros, 2017; Rodrigues y otros, 2020) e interanual (Dos Santos y otros, 2022) de las precipitaciones, así como por períodos de sequía prolongados (Marengo, Torres y Alves, 2017) y por episodios de precipitaciones excesivas capaces de ocasionar desastres naturales, como inundaciones, inundaciones repentinas y deslaves (Rodrigues y otros, 2020; Palharini y otros, 2020).

2. Datos

En el cuadro 1 se ofrece una síntesis de los distintos conjuntos de datos e indicadores utilizados en este estudio. Los datos sobre los desastres naturales ocurridos se extrajeron de dos bases de datos que abarcan los 1.262 municipios de la región semiárida del Brasil. Los datos correspondientes al período transcurrido entre 1991 y 2002 provienen del *Atlas Brasileiro de Desastres Naturais* (CEPED, 2012), y los correspondientes al período que va de 2003 a 2016 de la Secretaría Nacional de Protección y Defensa Civil (SEDEC, 2016). De entre todos los desastres naturales consignados en los conjuntos de datos, seleccionamos los relacionados con las precipitaciones (sequías, inundaciones e inundaciones repentinas), que son los de mayor incidencia en la zona objeto de estudio (Ribeiro y otros, 2022). Las sequías se definen como períodos prolongados de precipitaciones nulas o de escaso volumen, caracterizadas por su gestación progresiva y por una frecuente percepción de irregularidad con respecto a los patrones climáticos de largo plazo referidos a las precipitaciones, la humedad del suelo, las aguas subterráneas y los caudales de los ríos (Marengo, 2009; Santos y otros, 2020). En contraste, las inundaciones tienen su origen en las precipitaciones excesivas, que se definen por un aumento de los niveles de los cursos de agua que supera los caudales normales, lo que lleva a desbordes en las zonas aledañas (Marengo, 2009; Perez y otros, 2020). Las inundaciones repentinas, que se definen como un flujo concentrado de aguas superficiales que transporta una gran cantidad de energía, son el producto de precipitaciones intensas o concentradas, y ocurren con mayor frecuencia en zonas con pendientes naturales elevadas (Tominaga, Santoro y Amaral, 2009).

Cuadro 1
Descripción de las variables del estudio: tipo de desastre
y variables climáticas, sociales y sanitarias

Identificación	Indicador	Definición	Unidades
Índices de precipitaciones extremas			
RX1day	Volumen máximo de precipitaciones (1 día)	Máximo mensual de precipitaciones (1 día)	Mm
RX5day	Volumen máximo de precipitaciones (5 días)	Máximo mensual de precipitaciones (5 días)	Mm
SDII	Índice simple de intensidad diaria	Total anual de precipitaciones dividido entre el número de días húmedos (definidos como días con un volumen de precipitaciones igual o mayor a 1 mm) durante el año	mm/día

Identificación	Indicador	Definición	Unidades
Índices de precipitaciones extremas			
R10mm	Días con precipitaciones intensas	Total anual de días con un nivel de precipitaciones igual o mayor a 10 mm	Días
R20mm	Días con precipitaciones extremadamente intensas	Total anual de días con un nivel de precipitaciones igual o mayor a 20 mm	Días
CDD	Días secos consecutivos	Número máximo de días consecutivos con índice diario de precipitaciones inferior a 1 mm	Días
CWD	Días húmedos consecutivos	Número máximo de días consecutivos con índice diario de precipitaciones superior a 1 mm	Días
R95ptot	Días extremadamente húmedos	Total anual de precipitaciones cuando el índice diario supera el 95° percentil	Mm
Atributos geofísicos			
ELV	Elevación relativa al nivel del mar	Número de metros por encima del nivel del mar	M
Desastres naturales			
FD	Inundaciones	Número de inundaciones	Número
RF	Inundaciones repentinas	Número de inundaciones repentinas	Número
DR	Sequías/períodos secos	Número de sequías o períodos secos	Número
IMR	Tasa de mortalidad infantil	Número de muertes de niños menores de un año por cada 1.000 nacidos vivos	Porcentaje
TDR	Tasa total de dependencia	Relación entre el número de niños (0 a 14 años de edad) y de personas mayores (65 años y más) y la población en edad laboral (15 a 64 años)	Porcentaje
Atributos sociodemográficos			
IR	Tasa de analfabetismo	Relación entre el número de personas de 15 años y más que no pueden leer ni escribir una nota simple y el total de la población de 15 años y más multiplicada por 100	Porcentaje
GINI	Coefficiente de Gini	El coeficiente de Gini mide la desigualdad entre los valores de una distribución de frecuencias, como los niveles de ingresos	
UA	Porcentaje de personas que residen en zonas urbanas	Población urbana como porcentaje de la población total	Porcentaje
GC	Porcentaje de hogares sin un sistema de recolección de residuos adecuado	Porcentaje de hogares sin un sistema adecuado de recolección de residuos sólidos	Porcentaje
IS	Porcentaje de hogares sin un sistema de saneamiento adecuado	Porcentaje de hogares sin un suministro adecuado de agua o servicios de saneamiento	Porcentaje
IM	Porcentaje de hogares con paredes inadecuadas	Porcentaje de hogares con paredes construidas con materiales de baja calidad	Porcentaje
POOR	Porcentaje de personas de ingreso bajo	Porcentaje de personas con un ingreso de hogar per cápita igual o inferior a 140 reales por mes (en reales de agosto de 2010). Se incluye solo a las personas que viven en hogares privados permanentes	Porcentaje

Fuente: Elaboración propia.

Para este estudio se utilizó información meteorológica de Xavier, King y Scanlon (2016). Los datos se organizan en una matriz regular de $0,25^\circ$ de latitud por $0,25^\circ$ de longitud compuesta por 3.625 pluviómetros y 735 estaciones meteorológicas que aportan las mediciones disponibles desde 1980 hasta 2013. Xavier, King y Scanlon (2016) interpolaron los datos en un formato de matriz antes de analizarlos y validarlos. En este estudio se extrajo información sobre las precipitaciones diarias acumuladas a partir del punto de la matriz más cercano (en función de la latitud y la longitud) a cada sede municipal en la región semiárida del Brasil. A continuación, se aplicó el algoritmo ClimDex (Zhang y Yang, 2004) a los datos muestrales para crear 27 índices de extremos climáticos. Acto seguido, seleccionamos los ocho índices —elegidos en función del exceso o déficit de precipitaciones— que guardaran la relación más estrecha con la probabilidad de que ocurriese un desastre relacionado con las precipitaciones. Medimos los datos sobre la elevación, suministrados por Alvares y otros (2013), en metros por encima del nivel del mar.

En este estudio se seleccionaron nueve indicadores sociales y demográficos calculados a partir de datos extraídos del Censo Demográfico de 2010 (IBGE, 2010) (véase el cuadro 1).

3. Métodos

En este estudio las estimaciones se calculan a nivel municipal. Al igual que con cualquier otra unidad administrativa, el uso de municipios como unidad de análisis es un factor limitante, en particular al trabajar con datos climáticos continuos (pixelados), ya que la variabilidad climática espacial podría verse reducida. Esto es particularmente cierto en los municipios de gran tamaño ubicados en zonas de transición climática. Además, los regímenes climáticos a menudo no se ajustan a la lógica organizacional de los datos socioeconómicos, demográficos y sanitarios, que en general guardan una mayor relación con las fronteras tradicionales de tipo político y administrativo. Otros rasgos geofísicos, como los gradientes de las pendientes y la altitud, en general son más homogéneos dentro de los límites del mismo municipio, ya que los procesos de asentamientos a menudo respetan las características topográficas hasta cierto punto. Aplicando la estrategia utilizada por Andrade y otros (2021), utilizamos un método de clasificación probabilística aproximada para definir los perfiles municipales a fin de lograr dos objetivos concretos. En primer lugar, procuramos corregir el desajuste entre las fronteras política y climática y refinar nuestra resolución espacial en materia climática, social y de desastres valiéndonos de la capacidad de la clasificación aproximada de identificar perfiles (mixtos) de transición. En segundo lugar, buscamos definir agrupaciones de municipios con características similares y mixtas, gracias a lo cual el estudio permitió establecer un sistema de zonificación.

Para este estudio, se eligió el grado de membresía como método de clasificación (Erosheva, Fienberg y Joutard, 2007). El grado de membresía es un enfoque de agrupación aproximado que permite realizar observaciones de membresía mixta en un conjunto de datos multidimensionales. Los dos conjuntos de parámetros principales son: λ_{kjl} , la probabilidad de que una unidad (municipio) que pertenezca por completo a un perfil extremo (k) presente una respuesta concreta en la categoría l -ésima de un indicador j -ésimo, en función de puntajes de membresía conocida (g_{ik}). Para el mismo perfil (k) y el mismo indicador (j), el parámetro (λ_{kjl}) se normaliza de forma tal que $\sum_{ljk} \lambda_{kjl} = 1$. El puntaje g_{ik} es el parámetro de clasificación aproximada, con valores que van de 0 a 1 y una restricción de $\sum_k g_{ik} = 1$. La estructura de probabilidad se basa en la probabilidad condicional a nivel municipal de que el municipio i -ésimo responda de una manera concreta a la categoría l -ésima del indicador j -ésimo $P(Y_{ijl} = 1) = \sum_k g_{ik} \lambda_{kjl}$. El modelo de probabilidad, que se basa en una muestra aleatoria, corresponde a $E(Y_{ijl})$, y se supone que g_{ik} es un parámetro conocido estrictamente positivo. La función de probabilidad correspondiente tiene la siguiente forma multinomial (Manton, Woodbury y Tolley, 1994):

$$L(Y_{ijl}) = \prod_{i=1}^I \prod_{j=1}^J \prod_{l=1}^L \left(\sum_k g_{ik} \lambda_{kjl} \right)^{y_{ijl}}$$

con un máximo en $\hat{\lambda}_{kjl}$ y \hat{g}_{ik} , con restricciones $\sum_k g_{ik} = 1$ y $\sum_{l,j} \lambda_{kjl} = 1$. El grado de membresía es capaz de producir resultados distintos en función de la divergencia inicial (λ_{kjl}^* y g_{ik}^*), que en este caso se establece como $\lambda_{kjl}^* \sim U(0, 1)$ y $g_{ik}^* = \frac{1}{K}$ a partir de las estimaciones finales. Esta variabilidad de las estimaciones puede dar lugar a máximos locales, que es necesario minimizar mediante simulaciones (Guedes y otros, 2016). Realizamos 1.000 repeticiones de Monte Carlo para λ_{kjl}^* , para un valor g_{ik}^* fijo, y utilizamos el promedio de las estimaciones de la repeticiones como nuestros resultados finales. Todas las estimaciones se calcularon usando el programa informático R basado en la biblioteca “gom”⁷.

Sometimos a prueba modelos con diversas cantidades de perfiles y, de conformidad con el índice del criterio de información de Akaike (AIC) y pruebas de razón de verosimilitud (Vermunt y Magidson, 2002), llegamos a la conclusión de que el modelo $K=4$ es el que mejor se ajusta a los datos.

Sobre la base de \hat{g}_{ik} , elaboramos una variable multinomial con cuatro perfiles aplicando el siguiente algoritmo combinatorio:

$$\left\{ \begin{array}{l} 1 \text{ if } g_{i1} > \max(g_{i2}, g_{i3}, g_{i4}) \\ 2 \text{ if } g_{i2} > \max(g_{i1}, g_{i3}, g_{i4}) \\ 3 \text{ if } g_{i3} > \max(g_{i1}, g_{i2}, g_{i4}) \\ 4 \text{ if } g_{i4} > \max(g_{i1}, g_{i2}, g_{i3}) \end{array} \right. \text{Profile} =$$

A fin de validar el algoritmo, sometimos los indicadores no transformados a la prueba de Kruskal y Wallis y a la prueba de Dunn ajustada según Bonferroni para determinar si sus valores medios presentaban grandes diferencias entre los distintos perfiles. A continuación,

⁷ Véase [en línea] <https://github.com/epopea/gom>.

representamos los cuatro perfiles en un mapa para definir zonas de perfiles multivariados y les asignamos nombres en función del análisis conjunto de sus diferencias en los niveles de los indicadores medios. Aplicamos la distancia de Hellinger (HD) para comparar los pares de perfiles. La distancia de Hellinger es una medida de la diferencia entre las distribuciones que compara las probabilidades de respuesta entre dos perfiles extremos cualesquiera para cada variable, y se define de la siguiente manera:

$$H_j(\lambda_{pj}, \lambda_{qj}) = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{\sum_{I_j} (\sqrt{\lambda_{pjl}} - \sqrt{\lambda_{qjl}})^2}$$

donde λ_{pj} y λ_{qj} son los vectores de probabilidad para la variable j -ésima en los perfiles p y q , respectivamente.

En los mapas temáticos elaborados se utilizó el programa R (basado en las bibliotecas “spdep” y “ggplot2”) y el programa QGIS (versión 3.22).

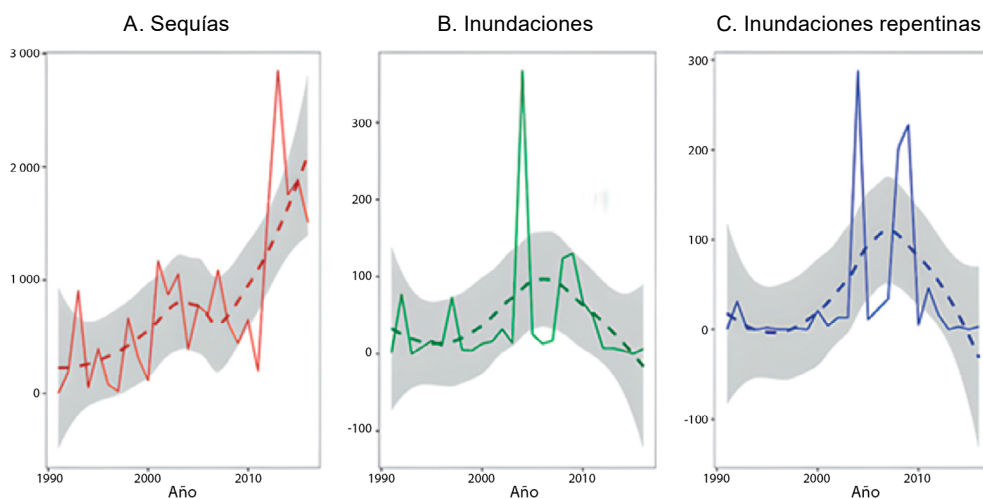
B. Resultados y análisis

Entre 1991 y 2016, en la región semiárida brasileña se registraron 22.316 desastres relacionados con las precipitaciones, a saber, 20.286 períodos secos y sequías (91%), 1.086 inundaciones repentinas (5%) y 944 inundaciones (4%). El gráfico 1, donde se observan las series temporales de las sequías, las inundaciones y las inundaciones repentinas en la región, sugiere que el número de episodios ha variado considerablemente a lo largo del tiempo, en particular en el caso de las sequías. Se observó un drástico aumento en el número de episodios de déficit de precipitaciones, que pasaron de 191 en 1991 a 1511 en 2016. La primera década del período de datos (1991 a 2000) concentra alrededor de un 13% del total de los episodios de sequía, y la década siguiente (2001 a 2011) un 39%. La mayoría de los episodios de sequía se concentraron dentro del período de cinco años transcurrido entre 2012 y 2016, donde se registraron más de 1.500 sequías o períodos secos por año. Este aumento podría responder a dos posibles causas subyacentes: i) una reducción de las precipitaciones y un aumento de las temperaturas atmosféricas en la región (Nogueira y otros, 2023), o ii) mejoras en la presentación de los datos. Las investigaciones recientes demuestran que durante las últimas décadas tanto el número de días consecutivos sin lluvias (De Medeiros, De Oliveira y Ávila-Díaz, 2022; Medeiros, Lima y Santos, 2023) como las temperaturas atmosféricas (De Moraes, Wanderley y Delgado, 2023) han estado aumentando en algunas zonas de la región semiárida del Brasil.

Los episodios de inundaciones e inundaciones repentinas en la región semiárida brasileña se caracterizan por una marcada variabilidad temporal. Los datos revelan que el número de desastres naturales aumenta cuando se producen precipitaciones excesivas, aunque en menor medida frente a los desastres que se producen cuando aumentan los episodios de sequía. El mayor aumento en los episodios de inundaciones e inundaciones repentinas se registró entre 2000 y 2010. Desde 2010, los desastres de este tipo han disminuido de manera sostenida. El 5,8% del total de inundaciones y el 19,2% del total de

inundaciones repentinas se registraron en el período que va de 1991 a 2000. Los episodios de inundaciones e inundaciones repentinas fueron particularmente importantes en la segunda década del conjunto de datos (2001 a 2011), donde se concentraron alrededor de un 92% de las inundaciones y un 79% de las inundaciones repentinas. En los últimos cinco años incluidos en el período de datos (2012 a 2016), la frecuencia de los episodios de precipitaciones excesivas disminuyó notablemente, y representó alrededor de un 2% del total de episodios de inundaciones e inundaciones repentinas ocurridos entre 1991 y 2016. Al mismo tiempo, en este período aumentaron los episodios de sequía.

Gráfico 1
Brasil: sequías/períodos secos, inundaciones e inundaciones repentinas,
región semiárida, 1991 a 2016
 (En números)

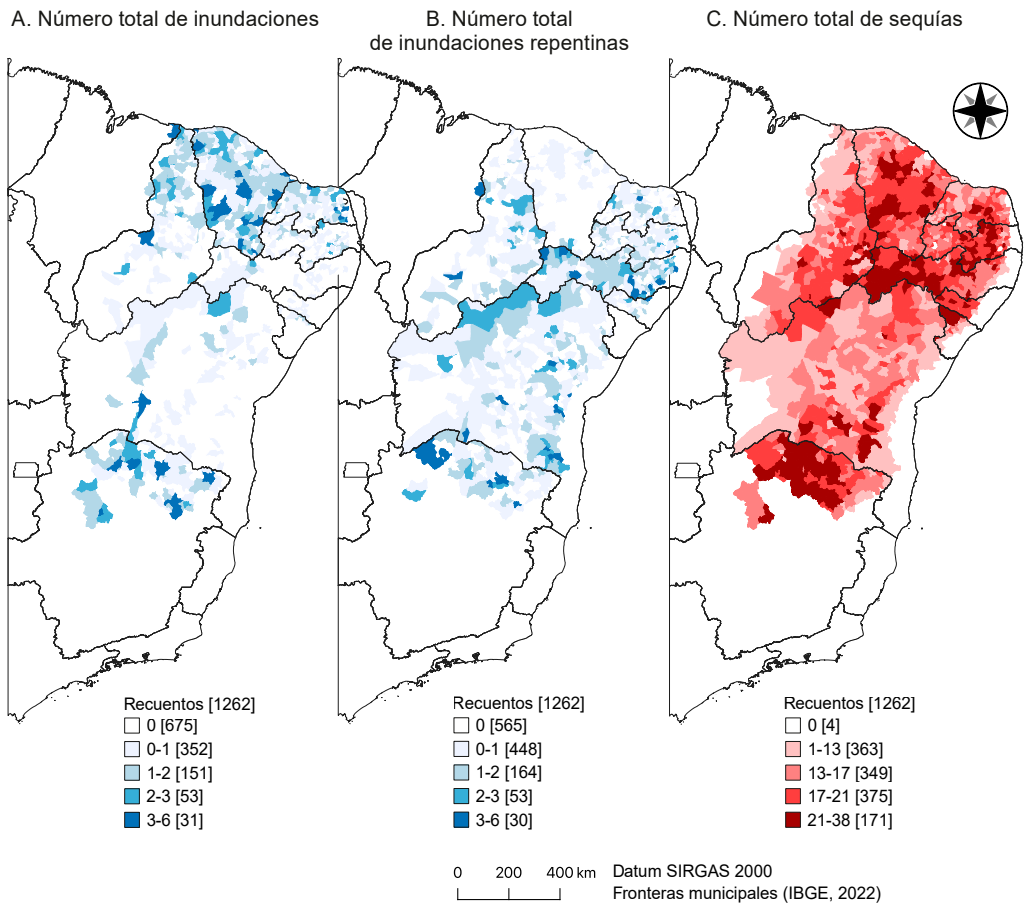


Fuente: Elaboración propia, sobre la base de Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres (CEPED), *Atlas Brasileiro de Desastres Naturais 1991 a 2010: volume Brasil*, 2012, Florianópolis, Universidad Federal de Santa Catarina (UFSC); y Secretaría Nacional de Protección y Defensa Civil (SEDEC), Sistema Integrado de Informações sobre Desastres (S2ID), 2016 [en línea] <http://s2id.mi.gov.br/> [fecha de consulta: diciembre de 2023].

En el mapa 3 se presenta la distribución espacial del número total de desastres relacionados con precipitaciones ocurridos en la región semiárida brasileña entre 1991 y 2016. Las sequías tienen una profunda incidencia en la región, ya que apenas 4 (0,3%) de sus 1.262 municipios no registraron episodios de déficit de precipitaciones durante el período. En contraste, los episodios de exceso de precipitaciones son menos frecuentes, y entre 1991 y 2016 apenas la mitad de los municipios de la región registraron inundaciones o inundaciones repentinas. En la región semiárida del Brasil, los episodios de precipitaciones excesivas siguen una distribución espacial “espejada”, y se registra un mayor número de inundaciones en las zonas bajas, como en la región septentrional de Piauí y la mayor parte de Ceará. Por otro lado, las inundaciones repentinas predominan en las zonas relativamente

altas, en particular en la región septentrional de Bahía y la zona occidental de Pernambuco. Las sequías son comunes en toda la región, excepto en las zonas internas de Bahía y en el extremo occidental de Piauí. Los municipios semiáridos situados en la zona septentrional del estado de Minas Gerais se ven afectados por los tres tipos de desastres, lo que los transforma en un punto neurálgico de episodios de origen climático.

Mapa 3
Brasil: distribución espacial de los desastres relacionados con las precipitaciones, región semiárida, 1991 a 2016



Fuente: Elaboración propia, sobre la base de Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres (CEPED), *Atlas Brasileiro de Desastres Naturais 1991 a 2010: volume Brasil*, Florianópolis, Universidad Federal de Santa Catarina (UFSC), 2012; y Secretaría Nacional de Protección y Defensa Civil (SEDEC), Sistema Integrado de Informações sobre Desastres (S2ID), 2016 [en línea] <http://s2id.mi.gov.br/> [fecha de consulta: diciembre de 2023].

Varios aspectos inciden en la variabilidad que se observa en la distribución espacial de los desastres naturales, entre ellos el funcionamiento de los sistemas meteorológicos regionales (Ribeiro y otros, 2022). Palharini y Vila (2017) dividen la región del Nordeste

brasileño en cuatro subregiones en función de la preponderancia de los sistemas meteorológicos responsables de las mayores precipitaciones en cada zona. La zona de convergencia intertropical predomina en las zonas septentrionales de la región semiárida, junto con líneas de turbonadas, convergencia de flujos de humedad y convección local. En la región son frecuentes las nubes de convección profunda, que repercuten en el volumen de las precipitaciones (Palharini y Vila, 2017). Además, en la zona septentrional de la región semiárida de Brasil se observa un promedio anual de precipitaciones más alto que en otras zonas semiáridas (Rodrigues y otros, 2020; Dos Santos y otros, 2022), lo que contribuye a las inundaciones y las inundaciones repentinas.

La región semiárida brasileña registra menores niveles de precipitaciones que la región del Nordeste en su conjunto. En promedio, los indicadores del exceso de precipitaciones son más bajos en las regiones semiáridas, en tanto que los indicadores del déficit de precipitaciones son más altos (véase el cuadro A1 del anexo). La distribución espacial de los índices del exceso de precipitaciones revela que los municipios de las zonas más orientales de la región semiárida se caracterizan por valores reducidos para los períodos de humedad extrema (R_{x1day} y R_{x5day}) y para la intensidad de las precipitaciones (SDII), en particular en Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, la zona noroccidental de Bahía y las zonas interiores de Ceará. En particular en los extremos más orientales de la región semiárida, que abarcan los municipios situados en las zonas interiores de Bahía, Pernambuco y Piauí, son comunes la escasez de precipitaciones (R_{10mm} y R_{20mm}), la incidencia reducida de días muy húmedos (R_{95ptot}) y un número escaso de días húmedos consecutivos (CWD). Si bien en la mayor parte de la región semiárida se registran niveles escasos de precipitaciones, una distribución más uniforme de las precipitaciones a lo largo del año (que se refleja en valores del índice simple de intensidad diaria más bajos) se traduce en un número menor de días secos consecutivos. A la inversa, las zonas con menores déficits de precipitaciones pero con patrones de lluvias más concentrados a lo largo del año (es decir, valores del índice simple de intensidad diaria (SDII) relativamente altos) registran valores mayores del indicador de días secos consecutivos (CDD). Este patrón se observa claramente en la región noroccidental de Minas Gerais, en las zonas occidentales de Bahía y en las porciones sudoccidentales de Piauí (véase el mapa 4). En otros estudios se han encontrado datos empíricos similares al investigar los índices de precipitaciones extremas en la región semiárida del Brasil a lo largo de distintos períodos (Da Silva y otros, 2019; Bezerra y otros, 2019; Dos Santos y otros, 2022).

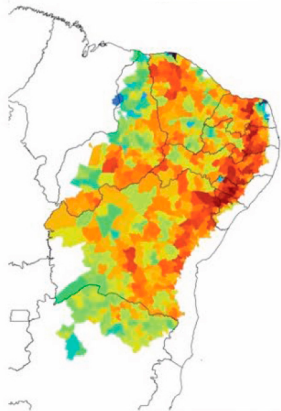
En el mapa 5 se muestra la distribución espacial de los indicadores sociodemográficos en la región semiárida. Se observan distribuciones espaciales similares para el índice de dependencia, el coeficiente de Gini, la construcción de paredes inadecuadas y la proporción de personas con ingreso bajo. Los municipios situados en Alagoas, Pernambuco, Piauí, Ceará y la región noroccidental de Bahía registran los mayores niveles de estos indicadores, en contraste con los niveles más bajos que se observan en Río Grande do Norte, Paraíba, Sergipe y Minas Gerais. Además, se observa un patrón comparable en el suministro de servicios públicos, en particular la recolección de residuos y el saneamiento. Las zonas que registran los menores niveles de provisión de servicios públicos se concentran a lo largo

de la frontera oriental de norte a sur, y los servicios mejoran gradualmente al avanzar en dirección oeste. Las tasas de analfabetismo son más altas en los municipios ubicados en los estados septentrionales y noroccidentales de la región semiárida brasileña, en contraste con Minas Gerais y Bahía. Se observa una distribución espacial similar en lo referido a la mortalidad infantil y la urbanización. Se observan mayores niveles de urbanización en los lugares con tasas de mortalidad infantil bajas, como Minas Gerais, Río Grande do Norte y Ceará. En contraste, en Pernambuco y Alagoas se observa una mayor concentración de municipios con mayores índices de mortalidad infantil y menores niveles de urbanización.

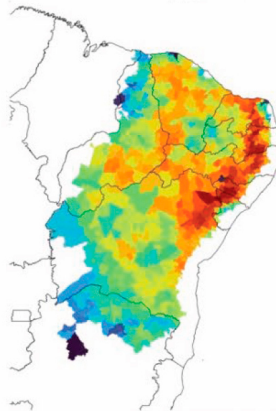
Mapa 4

Brasil: distribución espacial de los valores medios de los índices de precipitaciones extremas, región semiárida, promedio del período 1980 a 2013

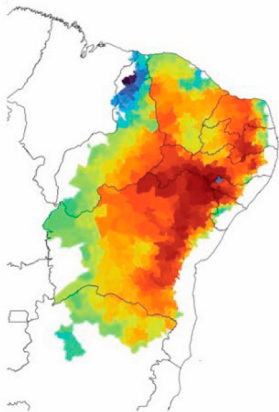
A. Volumen máximo de precipitaciones (1 día)



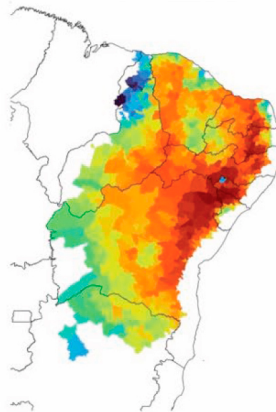
B. Volumen máximo de precipitaciones (5 días consecutivos)



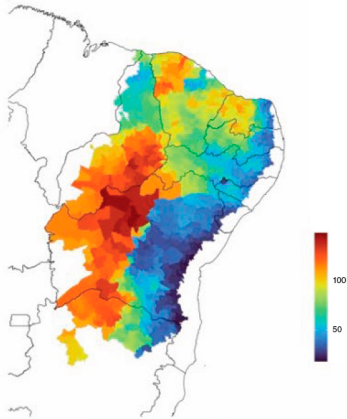
C. Número anual de días cuando el volumen de precipitaciones es mayor o igual que 10 mm



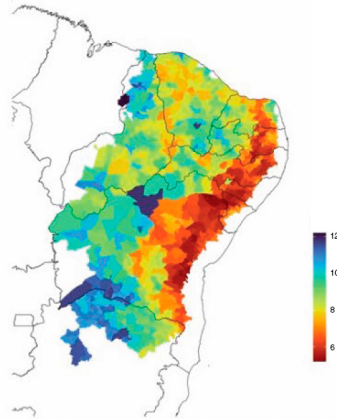
D. Número anual de días cuando el volumen de precipitaciones es mayor o igual que 20 mm



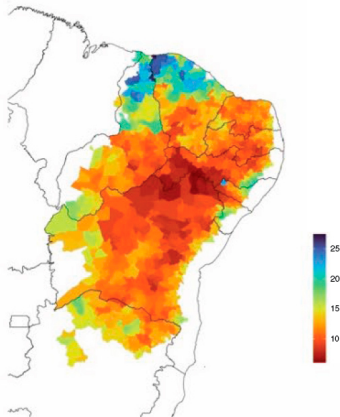
E. Días consecutivos con índice de precipitaciones menor a 1 mm



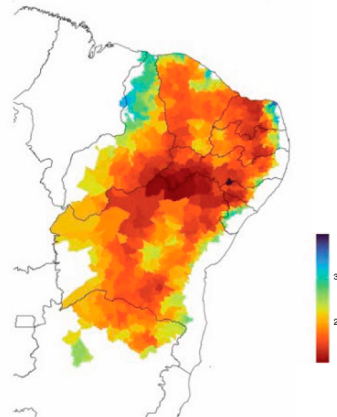
F. Índice simple de intensidad de las precipitaciones



G. Días consecutivos con índice de precipitaciones menor a 1 mm

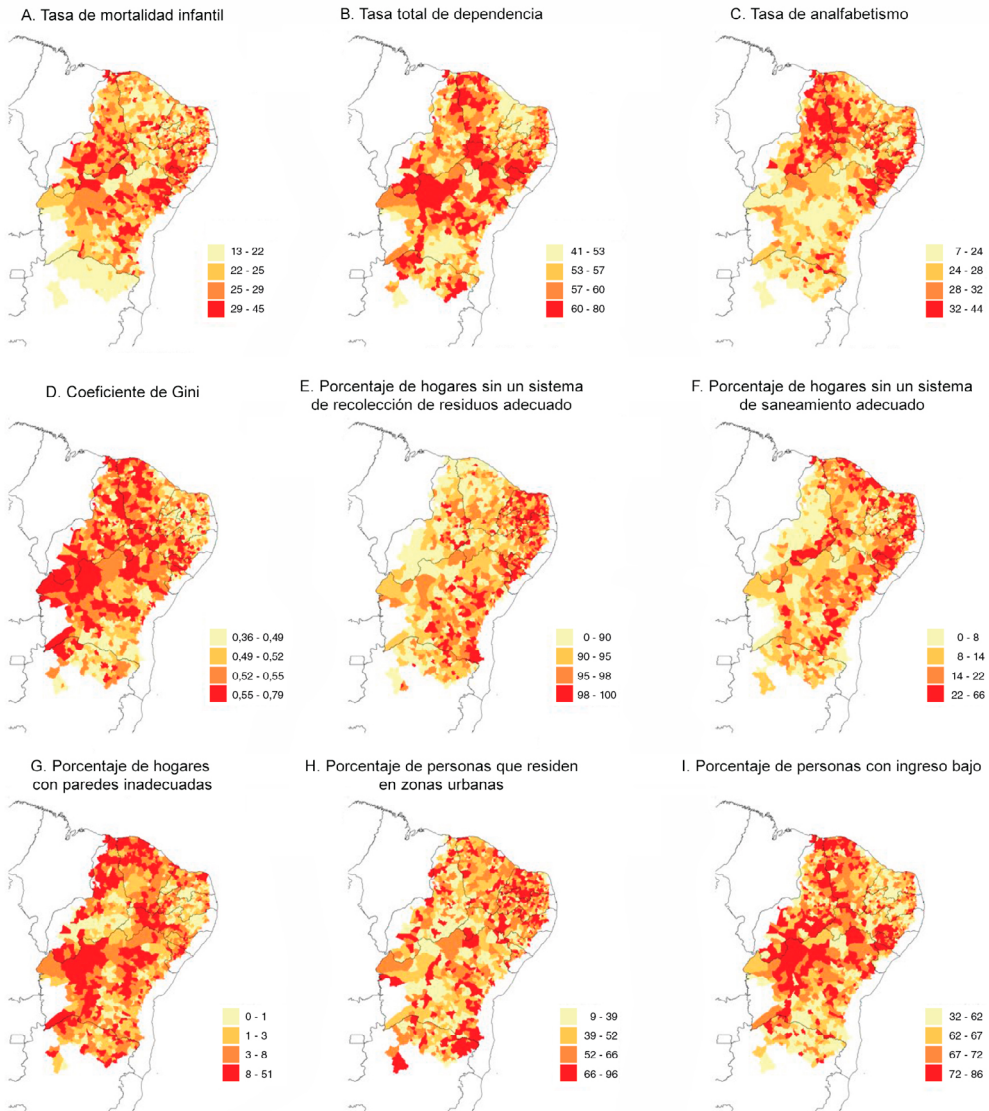


H. Total anual de precipitaciones cuando índice de precipitaciones es mayor que el 95° percentil



Fuente: Elaboración propia, sobre la base de ClimDex y A. C. Xavier, C. W. King y B. R. Scanlon, "Daily gridded meteorological variables in Brazil (1980–2013)", *International Journal of Climatology*, vol 36, N° 6, 2016.

Mapa 5

Brasil: distribución espacial de los indicadores sociodemográficos, región semiárida, 2010

Fuente: Instituto Brasileño de Geografía y Estadística (IBGE), "Censo Demográfico", 2010 [en línea] <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9662-censo-demografico-2010.html?edicao=9666&t=sobre> [fecha de consulta: 31 de julio de 2023].

Sobre la base del modelo de grado de membresía definimos cuatro perfiles (véanse los gráficos 2 y 3 y el cuadro A2 del anexo). Los municipios que pertenecen al primer perfil extremo se caracterizan principalmente por episodios frecuentes de sequías e inundaciones repentinas, así como por su elevada altitud y sus escasos niveles de precipitaciones. Asimismo, presentan mayores niveles de mortalidad infantil, un deterioro general de las condiciones sanitarias y de vida y a menudo una menor urbanización. Como resultado, definimos a los 349 municipios (27,7%) que se ajustan a este perfil como “zonas empobrecidas altas propensas a las sequías y las inundaciones repentinas”. En este perfil se observa un número bajo de días secos consecutivos, en promedio de 50 días, frente a los otros perfiles semiáridos, pero eso no significa que no se produzcan episodios de sequía. Un episodio de sequía sobreviene cuando concurren varios parámetros, entre ellos el número de días secos consecutivos (Van Loon, 2015; Pontes Filho y otros, 2019, Gonçalves y otros, 2021). Para algunos investigadores, para que se produzca una sequía alcanza con que haya 20 días secos consecutivos o más durante la estación lluviosa de la región (Rocha y otros, 2021).

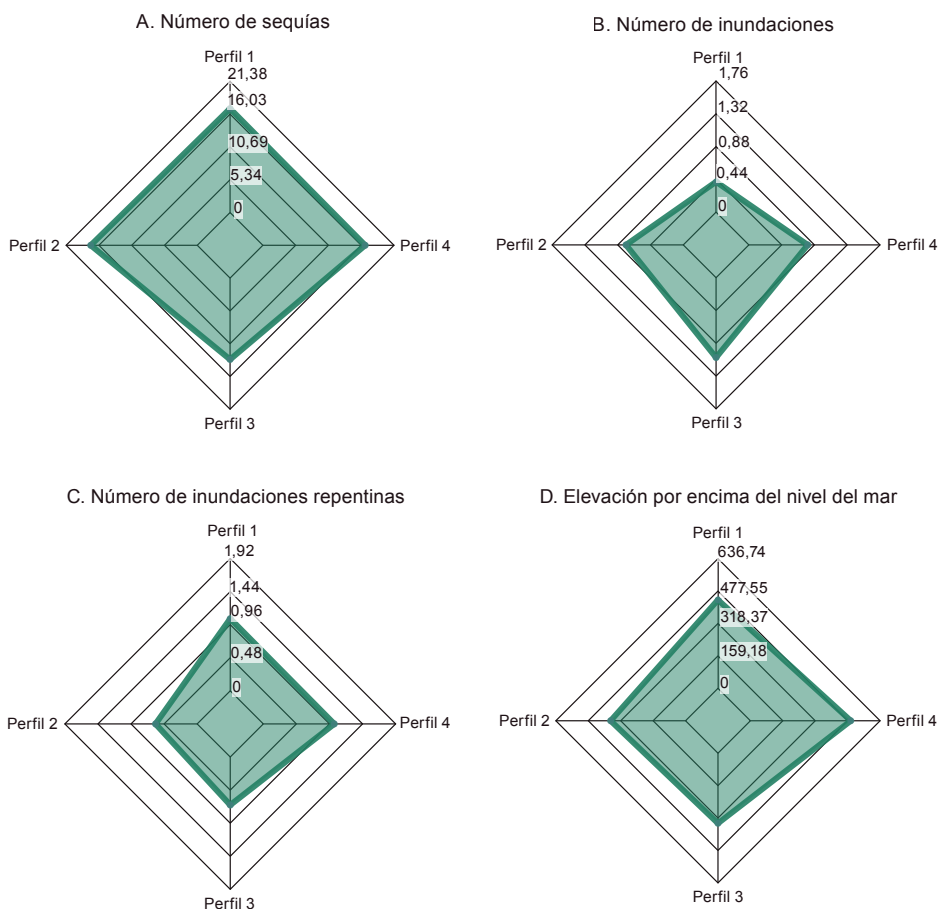
El segundo perfil se compone de municipios con una frecuencia de sequías relativamente alta y un número escaso de episodios de desastre relacionados con el exceso de precipitaciones (inundaciones e inundaciones repentinas). También se caracterizan por un nivel de precipitaciones entre bajo y medio en general, lluvias de una intensidad media a alta (SDII), varios días secos consecutivos (CDD) e indicadores socioeconómicos en el segundo nivel más bajo. En consecuencia, denominamos a los 281 municipios (22,3%) que se ajustan a este perfil como “zonas empobrecidas propensas a las sequías”. Este patrón ya se ha identificado en estudios anteriores (Dos Santos y otros, 2022; De Medeiros, De Oliveira y Ávila-Díaz, 2022). Por ejemplo, Dos Santos y otros (2022) determinó que estas zonas registran alrededor de 80 días secos consecutivos por año y un índice simple de intensidad diaria (SDII) de 8 mm por día, valores muy cercanos a los que se observan en los municipios situados en el perfil 2.

El tercer perfil se caracteriza por municipios con una frecuencia relativamente alta de inundaciones, altitudes relativamente bajas, elevados niveles de precipitaciones, una alta intensidad de lluvias (SDII) y pocos días secos consecutivos (CDD). Este perfil, al que denominamos “zonas empobrecidas bajas propensas a las inundaciones”, abarca 308 municipios (24,4%) que en general presentan indicadores socioeconómicos bajos. El cuarto y último perfil se compone de 324 municipios (25,7%) que registran una frecuencia elevada de todos los desastres relacionados con las precipitaciones, se sitúan en zonas altas y presentan un nivel de precipitaciones entre medio y alto, una alta intensidad de lluvias (SDII) y muchos días secos consecutivos (CDD). Los municipios que componen estas “zonas altas propensas a los desastres” tienden a estar altamente urbanizados y presentan los mejores niveles de vida e infraestructura dentro de la región semiárida brasileña.

Los resultados de Dos Santos y otros (2022) confirman los patrones que se constatan en nuestro estudio. En los municipios ubicados en las zonas oriental y occidental de la región semiárida se registró un número reducido de días consecutivos sin lluvia. Rodrigues y otros (2020) y Palharini y otros (2021) también determinaron que la zona oriental de la región del Nordeste del Brasil y la porción occidental del estado de Piauí en particular experimentaron elevados niveles de precipitaciones, como se observa en el perfil 3.

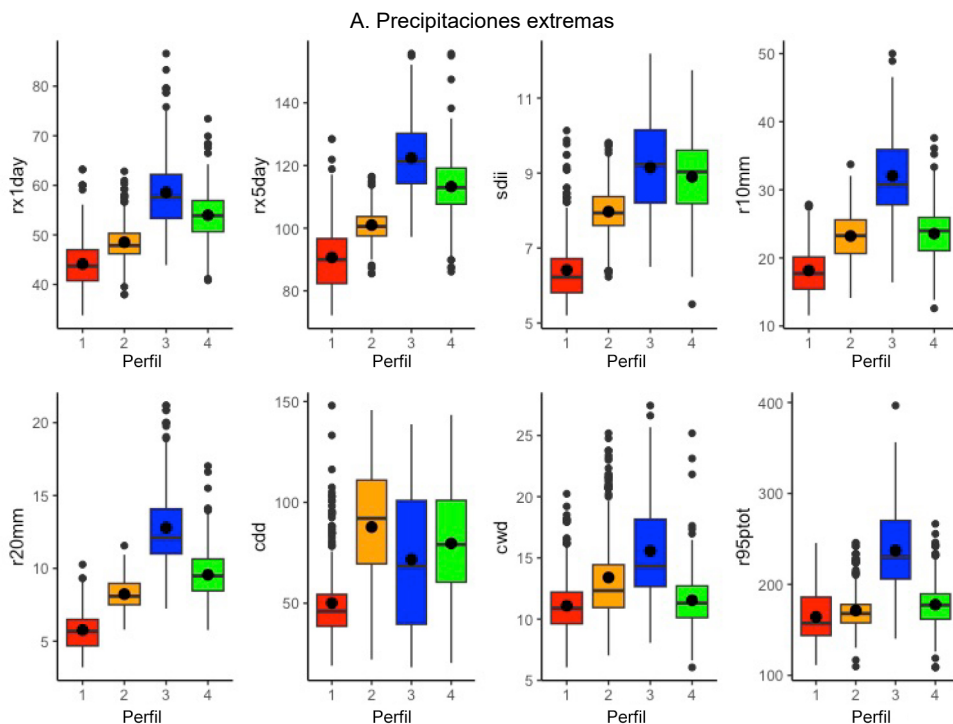
Gráfico 2

Brasil: gráficos de radar valores medios del indicador de desastres relacionados con precipitaciones por perfil, región semiárida, 1991 a 2016

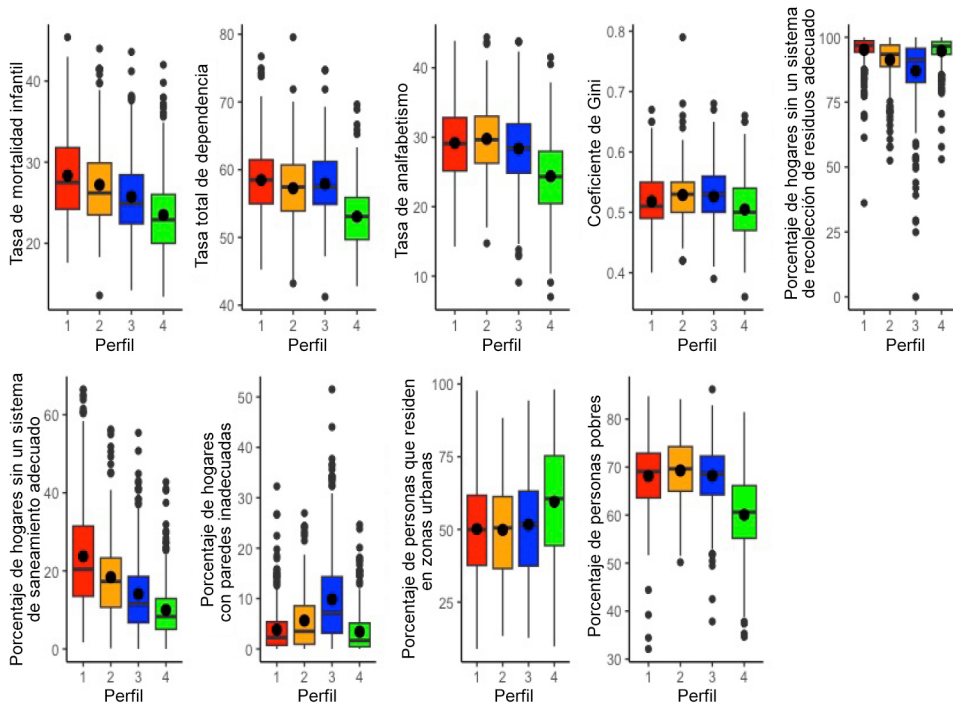


Fuente: Elaboración propia, sobre la base de Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres (CEPED), *Atlas Brasileiro de Desastres Naturais 1991 a 2010: volume Brasil*, Florianópolis, Universidad Federal de Santa Catarina (UFSC), 2012; Secretaría Nacional de Protección y Defensa Civil (SEDEC), Sistema Integrado de Informaçoes sobre Desastres (S2ID), 2016 [en línea] <http://s2id.mi.gov.br/> [fecha de consulta: diciembre de 2023], y C. A. Alvares y otros, "Köppen's climate classification map for Brazil", *Meteorologische Zeitschrift*, vol. 22, N° 6, 2013.

Gráfico 3
Brasil: diagrama de caja de los indicadores del modelo de grado de membresía por perfil de desastres, precipitaciones extremas y condiciones socioeconómicas, región semiárida, 1991 a 2016



B. Condiciones socioeconómicas



Fuente: Elaboración propia, sobre la base de ClimDex; A. C. Xavier, C. W. King y B. R. Scanlon, "Daily gridded meteorological variables in Brazil (1980–2013)", *International Journal of Climatology*, vol 36, N° 6, 2016, e Instituto Brasileiro de Geografia y Estadística (IBGE), "Censo Demográfico", 2010 [en línea] <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9662-censo-demografico-2010.html?edicao=9666&t=sobre> [fecha de consulta: 31 de julio de 2023].

Si bien los perfiles difieren en sus patrones generales, en el gráfico 4 se observa que los perfiles 1, 2 y 3 guardan mayor semejanza entre sí, en particular los perfiles 2 y 3, que registran las menores distancias de Hellinger. Esos perfiles son notablemente similares en lo referido a las dimensiones económicas, pero fundamentalmente diferentes en sus rasgos climáticos. El perfil 4 es el que más se desvía frente a los otros, en particular con respecto al perfil 3, excepto en lo referido a los episodios de desastre. Los perfiles 1 y 4 son similares con respecto a las inundaciones repentinas, en tanto que los perfiles 2 y 4 son más semejantes en lo referido a las sequías. Finalmente, se observan similitudes entre los perfiles 3 y 4 con respecto a los episodios de inundaciones y la intensidad de las precipitaciones.

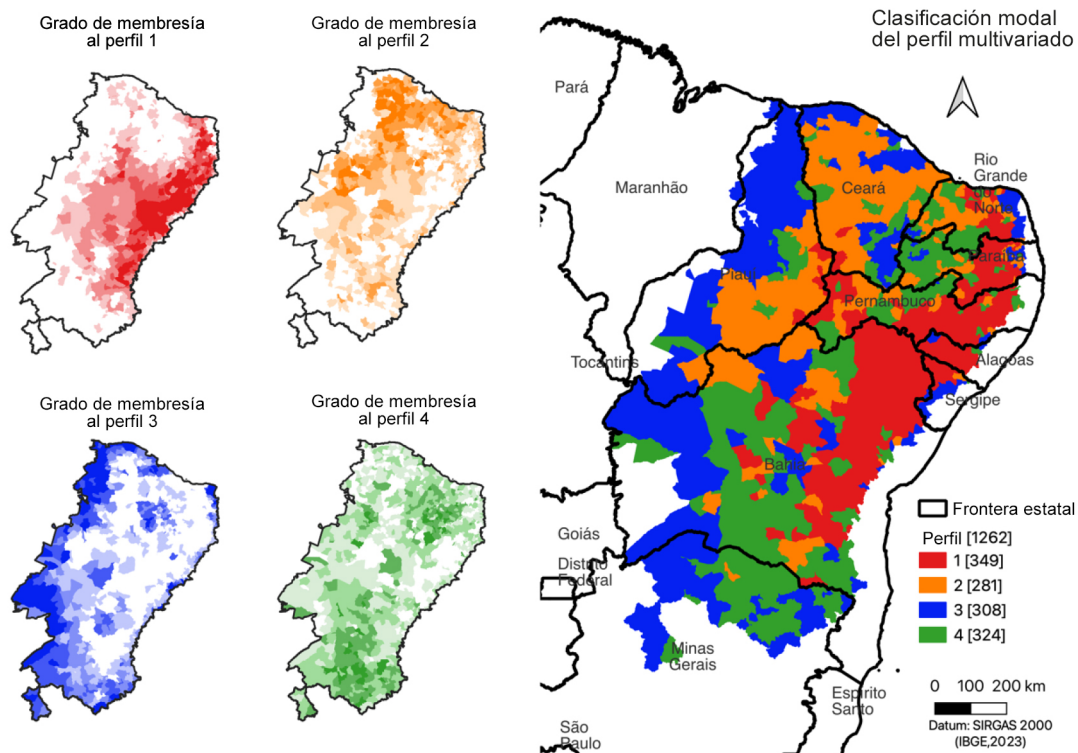
qué variables presentan diferencias significativas entre cualquier par dado de perfiles. En general, la dimensión referida al clima extremo se destaca como la que más contribuye a las diferencias entre los perfiles. Cabe mencionar que los perfiles cuyas condiciones climáticas presentan diferencias claras podrían compartir atributos similares en otras dimensiones. Los atributos sociodemográficos de los perfiles 1, 2 y 3 guardan una mayor semejanza, pero difieren de los del perfil 4. Sin embargo, las condiciones sanitarias difieren en todos los perfiles, lo que explica por qué la variable referida a las deficiencias de los sistemas sanitarios registró el mayor resultado en la prueba de Kruskal-Wallis. Como cabe esperar, las sequías son el episodio hidrometeorológico predominante en la región semiárida del Brasil y, a excepción del perfil 3, todos los perfiles exhiben patrones de sequía similares.

El perfil 3 incluye una de las zonas con la mayor densidad demográfica (IBGE, 2010) y el mayor volumen de precipitaciones extremas en la región semiárida (Dos Santos y otros, 2022). Más específicamente, la región oriental de este perfil alberga a una numerosa población expuesta a los riesgos de desastres naturales que plantean las precipitaciones excesivas (IBGE, 2018a). Se trata de una situación especialmente preocupante, ya que este perfil, donde se registran inundaciones sumamente frecuentes, también está expuesto a las sequías. Si bien el perfil 3 exhibe la menor frecuencia relativa de desastres relacionados con el déficit de precipitaciones, las sequías predominan en la totalidad de la región semiárida, lo que plantea desafíos adicionales para las zonas más proclives a otros tipos de desastres, por ejemplo, los relacionados con el exceso de precipitaciones.

Se observan patrones claramente distintos en las distribuciones espaciales de los cuatro perfiles. Los municipios pertenecientes al perfil 1 (zonas empobrecidas altas propensas a las sequías y a las inundaciones repentinas) se concentran principalmente en la zona más oriental de la región semiárida brasileña, y representan un 92% de los municipios de Alagoas, un 59% de los de Pernambuco, un 44% de los de Bahía y un 34% de los de Paraíba y Sergipe. El otro extremo, el perfil 3 (zonas empobrecidas bajas propensas a las inundaciones) abarca sitios adyacentes a la sección del extremo occidental de la región semiárida que más cerca está de la región húmeda de la Amazonia, e incluye un 51% de los municipios de Piauí y un 31% de los de Ceará. Los municipios en el extremo oriental y las zonas meridionales de la región semiárida brasileña, en particular Sergipe (un 48% de los municipios) y Minas Gerais (44%) también exhiben características similares al perfil 3. El perfil 2 (zonas empobrecidas propensas a las sequías) tiene un mayor predominio en las zonas interiores de Ceará (un 53% de los municipios), Piauí (33%), Río Grande do Norte (29%), Paraíba (19%) y Pernambuco (15%). A diferencia de los perfiles mencionados, el perfil 4 (zonas altas propensas a los desastres) presenta una mayor dispersión espacial a lo largo de la región. Alrededor del 55% de los municipios de Minas Gerais tienen características que corresponden principalmente al perfil 4, frente a un 36% de los municipios en Paraíba, un 31% en Bahía y un 22% en Pernambuco. Cabe destacar que Río Grande do Norte es el único estado con una distribución equilibrada de los perfiles en los distintos municipios (véanse el mapa 6 y el gráfico 5).

Mapa 6

Brasil: distribución espacial de cada g_{ik} y perfiles de desastres, de precipitaciones extremas y de condiciones socioeconómicas, región semiárida, 1991 a 2016

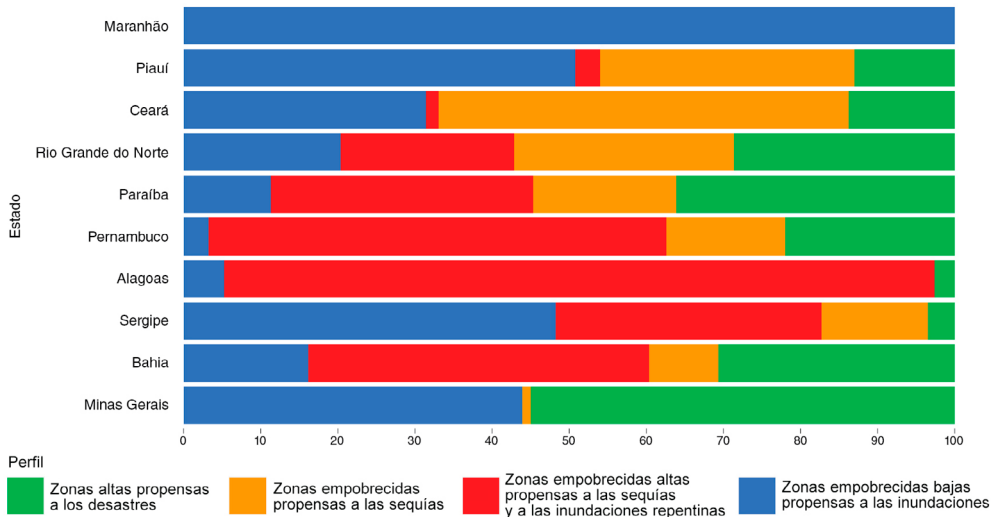


Fuente: Elaboración propia, sobre la base de ClimDex; A. C. Xavier, C. W. King y B. R. Scanlon, "Daily gridded meteorological variables in Brazil (1980–2013)", *International Journal of Climatology*, vol. 36, N° 6, 2016; Instituto Brasileño de Geografía y Estadística (IBGE), "Censo Demográfico", 2010 [en línea] <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9662-censo-demografico-2010.html?edicao=9666&t=sobre> [fecha de consulta: 31 de julio de 2023]; C. A. Alvares y otros, "Köppen's climate classification map for Brazil", *Meteorologische Zeitschrift*, vol. 22, N° 6, 2013; Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres (CEPED), *Atlas Brasileiro de Desastres Naturais 1991 a 2010: volume Brasil*, Florianópolis, Universidad Federal de Santa Catarina (UFSC), 2012, y Secretaría Nacional de Protección y Defensa Civil (SEDEC), Sistema Integrado de Informações sobre Desastres (S2ID), 2016 [en línea] <http://s2id.mi.gov.br/> [fecha de consulta: diciembre de 2023].

Gráfico 5

Brasil: distribución de municipios entre perfiles de desastres, de precipitaciones extremas y de condiciones socioeconómicas por estado, región semiárida, 1991 a 2016

(En porcentajes)



Fuente: Elaboración propia, sobre la base de ClimDex; A. C. Xavier, C. W. King y B. R. Scanlon, "Daily gridded meteorological variables in Brazil (1980–2013)", *International Journal of Climatology*, vol 36, N° 6, 2016; Instituto Brasileño de Geografía y Estadística (IBGE), "Censo Demográfico", 2010 [en línea] <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9662-censo-demografico-2010.html?edicao=9666&t=sobre> [fecha de consulta: 31 de julio de 2023]; C. A. Alvares y otros, "Köppen's climate classification map for Brazil", *Meteorologische Zeitschrift*, vol. 22, N° 6, 2013; Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres (CEPED), *Atlas Brasileiro de Desastres Naturais 1991 a 2010: volume Brasil*, Florianópolis, Universidad Federal de Santa Catarina (UFSC), 2012, y Secretaría Nacional de Protección y Defensa Civil (SEDEC), Sistema Integrado de Informações sobre Desastres (S2ID), 2016 [en línea] <http://s2id.mi.gov.br/> [fecha de consulta: diciembre de 2023].

La distribución espacial del parámetro g_{ik} sugiere con qué intensidad y en qué lugar las características de cada perfil se manifiestan en cada municipio. El mapa 6 muestra que el parámetro g_{ik} es predominantemente oscuro en las zonas que poseen características del perfil 3 (extremo occidental del mapa) y del perfil 1 (extremo oriental del mapa), y que tiene colores más claros en la mayor parte del resto de la región semiárida. Cuanto más oscuro es el color, más notoria será la manifestación de los atributos concretos de un perfil en un municipio. A la inversa, la coloración de los mapas para los perfiles 2 y 4 es más uniforme y con tonos más claros, lo que sugiere que los atributos que en general caracterizan a ambos perfiles están menos marcados y se distribuyen más ampliamente a lo largo de los municipios de la región semiárida.

La franja central de la región semiárida se caracteriza por niveles descendidos del índice de desarrollo humano (IDH), elevadas tasas de mortalidad infantil (Ribeiro y otros, 2022), índices anuales de precipitaciones bajos (Da Silva y otros, 2019; Rodrigues y otros, 2020) y un número elevado de episodios de sequía (Ribeiro y otros, 2022). Estos hallazgos en general reflejan y validan los patrones espaciales del valor de g_{ik} estimado en nuestro estudio para los perfiles 1 y 2.

C. Observaciones finales

La región semiárida del Brasil ha sido tradicionalmente una zona sumamente homogénea en lo referido a sus realidades socioeconómicas y el perfil demográfico de su población. Sin embargo, la distribución espacial de las personas, los servicios y la infraestructura puede variar al pasar del extremo oriental (el ecosistema Agreste) a la franja más cercana a la región húmeda de la Amazonia (Andrade y otros, 2021). Ciertas zonas en el estado de Bahía y en la frontera entre Bahía y Minas Gerais poseen rasgos que las sitúan en una posición socioeconómica relativamente ventajosa dentro de la región semiárida del Brasil.

Si bien su perfil climático general se caracteriza por períodos extendidos con precipitaciones escasas o nulas, lo que la hace propensa a frecuentes episodios de sequía, la región semiárida del Brasil es la más lluviosa de las regiones semiáridas del planeta (Dos Santos y otros, 2022; Vale y otros, 2023). Más del 99% de sus municipios han experimentado al menos un episodio de sequía entre 1991 y 2016, y en todos los ecosistemas semiáridos, entre ellas las regiones del Agreste, el Sertão y Caatinga, se producen sequías o períodos secos (Alvalá y otros, 2019; Marengo y otros, 2020; De Azevedo Couto y otros, 2023).

Aunque menos de un 30% de los municipios registraron inundaciones o inundaciones repentinas durante el período, los episodios de precipitaciones excesivas no son raros en esta región predominantemente seca. A diferencia del fenómeno generalizado de las sequías, los episodios relacionados con el exceso de precipitaciones se circunscriben a espacios más definidos. Las inundaciones ocurren comúnmente en las zonas bajas, en tanto que en las zonas de altitud relativamente elevada predominan las inundaciones repentinas. En el extremo meridional de la región semiárida ocurren los tres tipos de desastres, lo que lo transforma en un punto neurálgico de episodios de origen climático. En décadas recientes, las sequías han aumentado en frecuencia, a diferencia de las inundaciones y las inundaciones repentinas, de las que se han registrado menos episodios. Esta variabilidad en el número de desastres naturales asociados con el exceso y la falta de precipitaciones podría estar relacionada con el fenómeno El Niño-Oscilación del Sur sobre el Pacífico ecuatorial, que modula gran parte de la variabilidad interanual de las precipitaciones en América del Sur (Grimm, 2003; Kayano, Andreoli y Souza, 2013). Por ejemplo, el fenómeno El Niño correspondiente a 2015/2016 (NOAA, 2023) tuvo una incidencia clave en las recientes sequías ocurridas en la región semiárida del Brasil (Dantas, Da Silva y Santos, 2020).

Estos resultados sugieren que la región es más heterogénea en lo referido a sus características climáticas y geofísicas que en sus rasgos socioeconómicos y demográficos. La región, el 63% de cuya población vive por debajo de la línea de pobreza, es una zona crítica para la pobreza en el Brasil. También persisten las deficiencias de acceso a los servicios públicos, y un 92% de los hogares no dispone de servicios adecuados de recolección de residuos. Además, en comparación con el contexto latinoamericano, los niveles de urbanización de la región son bajos (53%). Con respecto a los principales indicadores de salud, la tasa de mortalidad infantil de la región (26 por cada 1.000 nacidos vivos) está por encima del promedio nacional. En lo referido a las condiciones climáticas, el número de días

secos consecutivos (CDD) y el índice de intensidad de las precipitaciones (SDII) son los dos parámetros extremos de precipitaciones en los que se observan las mayores diferencias en la región (Espinoza y otros, 2021; Marengo y otros, 2020, 2021; De Medeiros, De Oliveira y Ávila-Díaz, 2022; Morales y otros, 2023).

Nuestros perfiles multivariados y los análisis espaciales revelan la coexistencia de dimensiones climáticas sumamente heterogéneas, en contraste con la persistencia de la distribución más homogénea de los atributos socioeconómicos y demográficos de la región. Si bien en los cuatro perfiles definidos se observa una elevada susceptibilidad a las sequías, en el tercero (zonas empobrecidas bajas propensas a las inundaciones) también se aprecia una marcada vulnerabilidad a las inundaciones. Además, en el perfil 4 descubrimos un grupo de municipios vulnerables a todos los desastres (zonas altas propensas a los desastres). Estos municipios poseen una infraestructura socioeconómica relativamente mejor que los municipios abarcados en los otros tres perfiles, lo que podría traducirse en una mayor resiliencia dentro de una zona empobrecida.

Para calcular nuestros resultados, recurrimos a datos y a decisiones metodológicas que podrían imponer algunas limitaciones que vale la pena mencionar. En primer lugar, en los datos climáticos de Xavier, King y Scanlon (2016) se utiliza una resolución de $0,25^\circ$ por $0,25^\circ$, si bien una matriz más precisa ($0,10^\circ$ por $0,10^\circ$) mejoraría nuestra capacidad de detectar el nivel de heterogeneidad temporal y espacial en los índices climáticos. En consecuencia, nuestros hallazgos deben interpretarse como un límite inferior de la heterogeneidad climática. En segundo lugar, las muestras provienen de un único punto de datos climáticos por sección de la matriz, elegido en función del centroide de la sede municipal. Aunque el uso de la sede municipal como punto de referencia podría ser más idóneo como reflejo de los vínculos entre la población y el clima (ya que es probable que allí resida un mayor número de personas), en futuros estudios los puntos deberán seleccionarse aplicando otras estrategias de muestreo a fin de poder realizar análisis de sensibilidad. En tercer lugar, la mayoría de los indicadores sociodemográficos se basan en el Censo Demográfico de 2010 del Brasil, en tanto que los análisis preliminares del Censo Demográfico de 2022 del IBGE sugieren que las características de la población brasileña han experimentado profundos cambios entre ambos censos. No obstante, los microdatos del censo de 2022 no estaban disponibles para el público cuando se redactó este trabajo. Finalmente, pese a que el uso de fuentes de datos distintas modifica los períodos considerados, la interrelación entre los desastres, los fenómenos extremos y los aspectos sociodemográficos no se ve comprometida, ya que nuestro objetivo se centra en describir los indicios de esa interrelación a partir de las características de los municipios, no en ofrecer una explicación causal de la variación temporal en la asociación entre estas tres dimensiones. Una versión actualizada de nuestro estudio brindará información adicional sobre las nuevas heterogeneidades (o la mayor homogeneidad) que podría surgir debido a los cambios en la composición de la población y la reconfiguración del espacio en la región semiárida del Brasil.

Este estudio profundiza el análisis de la población y el clima en al menos tres esferas distintas. En primer lugar, el uso de índices sobre las precipitaciones extremas, no de series

temporales meteorológicas, es más adecuado al analizar los desastres de origen climático (Andrade y otros, 2021; Guedes y otros, 2023). En segundo lugar, este es el primer estudio que establece una relación entre los extremos climáticos, los desastres y los atributos sociodemográficos de la región semiárida del Brasil. Aunque en estudios anteriores estas dimensiones se han examinado por separado (Palharini y otros, 2022; Morales y otros, 2023; Guedes y otros, 2023), en esos trabajos no se analizó la interrelación espacial entre ellas. En tercer lugar, la aplicación de una metodología estadística basada en datos aproximados nos permitió modelizar de manera explícita la heterogeneidad referida al clima, los desastres y los aspectos sociodemográficos a nivel municipal. Esto nos permitió revelar profundas y novedosas diferencias dentro de una región que tradicionalmente se ha considerado homogénea desde los puntos de vista climático (por motivo de las sequías) y socioeconómico (por los elevados niveles de pobreza).

Bibliografía

- Alvalá, R. C. S. y otros (2019), "Drought monitoring in the Brazilian Semiarid region", *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, vol. 91, supl. 1.
- Alvares, C. A. y otros (2013), "Köppen's climate classification map for Brazil", *Meteorologische Zeitschrift*, vol. 22, N° 6.
- Andrade, L. y otros (2021), "Health-related vulnerability to climate extremes in homoclimatic zones of Amazonia and Northeast region of Brazil", *PLoS ONE*, vol. 16, N° 11.
- Barbieri, A. y W. Pan (2022), "Population dynamics and the environment: the demo-climatic transition", *International Handbook of Population Policies*, J. F. May y J. A. Goldstone (eds.), Nueva York, Springer.
- Bezerra, B. y otros (2019), "Changes of precipitation extremes indices in São Francisco River Basin, Brazil from 1947 to 2012", *Theoretical and Applied Climatology*, vol. 135.
- Botzen, W., O. Deschenes y M. Sanders (2019), "The economic impacts of natural disasters: a review of models and empirical studies", *Review of Environmental Economics and Policy*, vol. 13, N° 2.
- CEPED (Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres) (2012), *Atlas Brasileiro de Desastres Naturais 1991 a 2010: volume Brasil*, Florianópolis, Universidad Federal de Santa Catarina (UFSC).
- Confalonieri, U. (2009), "Global climate change and human health in Brazil", *Brazil and Climate Change: Vulnerability, Impacts and Adaptation*, Brasilia, Center for Strategic Studies and Management (CGEE).
- Da Silva, P. y otros (2019), "Precipitation and air temperature extremes in the Amazon and northeast Brazil", *International Journal of Climatology*, vol. 39, N° 2, febrero.
- Dantas, J. C., R. M. da Silva y C. G. Santos (2020), "Drought impacts, social organization, and public policies in northeastern Brazil: a case study of the upper Paraíba River basin", *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 192, N° 5.
- De Azevedo Couto, G. y otros (2023), "Natural hazards fatalities in Brazil, 1979-2019", *Natural Hazards*, vol. 118, N° 2, junio.
- De Coninck, H. y otros (2018), "Strengthening and implementing the global response", *Global Warming of 1.5°C. An IPCC special report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*, V. Masson-Delmotte y otros (eds.), Cambridge University Press.

- De Medeiros, F. J., C. P. De Oliveira y Á. Ávila-Díaz (2022), "Evaluation of extreme precipitation climate indices and their projected changes for Brazil: From CMIP3 to CMIP6", *Weather and Climate Extremes*, vol. 38, diciembre.
- De Moraes, J., H. Wanderley y R. Delgado (2023), "Areas susceptible to desertification in Brazil and projected climate change scenarios", *Natural Hazards*, vol. 116, N° 2, marzo.
- Domingues, J. (2023), "Climate change and its lexicon: an analytical and critical view", *International Journal of Politics, Culture, and Society*, vol. 36, N° 2, junio.
- Dos Santos, A. M. y otros (2022), "Evaluation of extreme precipitation indices in Brazil's semiarid region from satellite data", *Atmosphere*, vol. 13, N° 10.
- Erosheva, E., S. Fienberg y C. Joutard (2007), "Describing disability through individual-level mixture models for multivariate binary data", *The Annals of Applied Statistics*, vol. 1, N° 2, diciembre.
- Espinoza, N. y otros (2021), "Landslides triggered by the May 2017 extreme rainfall event in the east coast northeast of Brazil", *Atmosphere*, vol. 12, N° 10.
- Freire, F., M. Gonzaga y B. Queiroz (2019), "Projeção populacional municipal com estimadores bayesianos, Brasil 2010–2030", *Seguridade Social Municipais: Projeto Brasil 3 Tempos*, D. Sawyer (coord.), Brasília, Secretaría Especial de Asuntos Estratégicos/Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD)/Centro Internacional de Políticas para el Crecimiento Inclusivo (CIP-CI).
- Freitas, C. M. y otros (2020), "Desastres naturais e seus custos nos estabelecimentos de saúde no Brasil no período de 2000 a 2015", *Cadernos de Saúde Pública*, vol. 36, N° 7.
- Gonçalves, S. T. N. y otros (2021), "Índices e metodologias de monitoramento de secas: uma revisão", *Revista Brasileira de Meteorologia*, vol. 36, N° 3, julio-septiembre.
- Grimm, A. (2003), "The El Niño impact on the summer monsoon in Brazil: regional processes versus remote influences", *Journal of Climate*, vol. 16, N° 2, enero.
- Guedes, G. R., R. Raad y L. Raad (2019), "Welfare consequences of persistent climate prediction errors on insurance markets against natural hazards", *Estudos Econômicos (São Paulo)*, vol. 49, N° 2, abril.
- Guedes, G. R. y otros (2023), "Profiling sociodemographic attributes and extreme precipitation events as mediators of climate-induced disasters in municipalities in the state of Minas Gerais, Brazil", *Frontiers in Human Dynamics*, vol. 5.
- (2016), *Grade of Membership: conceitos básicos e aplicação empírica usando o programa GoM para Windows, Linux, Stata e R*, Belo Horizonte, Editora UFMG.
- Gupta, A. y otros (2020), "Mapping socio-environmental vulnerability to climate change in different altitude zones in the Indian Himalayas", *Ecological Indicators*, vol. 109, febrero.
- Hartmann, D. (2016), "Tropical anvil clouds and climate sensitivity", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 113, N° 32.
- IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia y Estadística) (2020), "Biomass" [en línea] <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/estudos-ambientais/15842-biomass.html?edicao=16060&t=downloads>.
- (2018a), *População em áreas de risco no Brasil*, Río de Janeiro.
- (2018b), "Semiárido brasileiro" [en línea] <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/mapas-regionais/15974-semiarido-brasileiro.html?edicao=24416> [fecha de consulta: 7 de junio de 2023].
- (2010), "Censo Demográfico" [en línea] <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9662-censo-demografico-2010.html?edicao=9666&t=sobre> [fecha de consulta: 31 de julio de 2023].
- IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático) (2023), "Summary for Policymakers", *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, H. Lee y J. Romero (eds.), Ginebra.

- (2022), *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, H.-O. Pörtner y otros (eds.), Cambridge/Nueva York, Cambridge University Press.
- Kayano, M., R. Andreoli y R. F. Souza (2013), “Relations between ENSO and the South Atlantic SST modes and their effects on the South American rainfall”, *International Journal of Climatology*, vol. 33, N° 8, junio.
- Lemos, J. S. (2012), *Mapa da exclusão social no Brasil: radiografia de um país assimetricamente pobre*. Fortaleza, Banco do Nordeste do Brasil, 3ª edición.
- Mah, J. C. y otros (2023), “Social vulnerability indices: a scoping review”, *BMC Public Health*, vol. 23, N° 1.
- Manton, K., M. Woodbury y H. Tolley (1994), *Statistical Applications Using Fuzzy Sets*, Nueva York, John Wiley & Sons, Ltd.
- Marengo, J. A. (2009), “Mudanças climáticas, condições meteorológicas extremas e eventos climáticos no Brasil”, *Mudanças climáticas e eventos extremos no Brasil*, Marengo y otros (coord.), Río de Janeiro. Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável (FBDS).
- Marengo, J. A., R. R. Torres y L. M. Alves (2017), “Drought in Northeast Brazil—past, present, and future”, *Theoretical and Applied Climatology*, vol. 129, N° 3-4.
- Marengo, J. A., S. Rodrigues-Filho y D. Santos (2021), “Impacts, vulnerability and adaptation to climate change in Brazil: an integrated approach”, *Sustainability in Debate*, vol. 11, N° 3.
- Marengo, J. A. y otros (2021), “Drought in Northeast Brazil: a review of agricultural and policy adaptation options for food security”, *Climate Resilience and Sustainability*, vol. 1, N° 1.
- (2020), “Assessing drought in the dry lands of northeast Brazil under regional warming exceeding 4 °C”, *Natural Hazards*, vol. 103.
- Medeiros, E. S., R. E. Lima y C. C. Santos (2023), “Spatiotemporal kriging for days without rainfall in a region of northeastern Brazil”, *Climate*, vol. 11, N° 1.
- Menezes, J. A. y otros (2018), “Mapping human vulnerability to climate change in the Brazilian Amazon: the construction of a municipal vulnerability index”, *PLoS ONE*, vol. 13, N° 2.
- Morales, F. C. y otros (2023), “Spatiotemporal Analysis of Extreme Rainfall Frequency in the Northeast Region of Brazil”, *Atmosphere*, vol. 14, N° 3.
- Moscatti, M. L. y M. A. Gan (2007), “Rainfall variability in the rainy season of semiarid zone of Northeast Brazil (NEB) and its relation to wind regime”. *International Journal of Climatology*, vol. 27, N° 4, marzo.
- Mutti, P. R. y otros (2020), “A detailed framework for the characterization of rainfall climatology in semiarid watersheds”, *Theoretical and Applied Climatology*, vol. 139, agosto.
- NOAA (Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica) (2023), *Monthly Global Climate Report for Annual 2022*, Centros Nacionales de Información Ambiental [en línea] <https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/monthly-report/global/202213>.
- Nogueira, D. B. y otros (2023), “Dry spells in a semi-arid region of Brazil and their influence on maize productivity”, *Journal of Arid Environments*, vol. 209, febrero.
- O'Brien, K. y otros (2007), “Why different interpretations of vulnerability matter in climate change discourses”, *Climate Policy*, vol. 7, N° 1.
- Oliver-Smith, A. (2022), “The social construction of disaster: Economic anthropological perspectives on the COVID-19 pandemic”, *Economic Anthropology*, vol. 9, N° 1, enero.
- Palharini, R. A. y D. Vila (2017), “Climatological behavior of precipitating clouds in the northeast region of Brazil”, *Advances in Meteorology*, vol. 2017.
- Palharini, R. A. y otros (2022), “Analysis of extreme rainfall and natural disasters events using satellite precipitation products in different regions of Brazil”, *Atmosphere*, vol. 13, N° 10.

- (2021), “Assessment of extreme rainfall estimates from satellite-based: regional analysis”, *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, vol. 23, agosto.
- (2020), “Assessment of the extreme precipitation by satellite estimates over South America”, *Remote Sensing*, vol. 12, N° 13, junio.
- PBMC (Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas) (2014), *Impactos, vulnerabilidades e adaptação às mudanças climáticas: contribuição do Grupo de Trabalho 2 do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas ao Primeiro Relatório da Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas*, E. D. Assad y A. E. Magalhães (eds.), Río de Janeiro, Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia (COPPE), Universidad Federal de Río de Janeiro.
- Perez, L. P. y otros (2020), “Climate change and disasters: analysis of the Brazilian regional inequality”, *Sustainability in Debate*, vol. 11, N° 3.
- Petersen, R. S. y otros (2020), “Índice de território saudável e sustentável dos municípios do semiárido brasileiro”, *Cadernos de Saúde Pública*, vol. 36, N° 11.
- Pielke Jr., R. y R. E. Carbone (2002), “Weather impacts, forecasts, and policy: an integrated perspective”, *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 83, N° 3, marzo.
- Pontes Filho, J. D. y otros (2019), “A continuous drought probability monitoring system, CDPMS, based on copulas”, *Water*, vol. 11, N° 9.
- Raad, R. J., G. Guedes y L. Vaz (2019), “Insurance contracts under beliefs contamination”, *Economics Bulletin*, vol. 39, N° 4.
- Ribeiro, M. y otros (2022), “Sanitary, social, and meteorological aspects and natural disasters in the northeastern region of Brazil”, *Mercator*, vol. 21, N° 1, junio.
- Rocha, R. Jr. y otros (2021), “An empirical seasonal rainfall forecasting model for the northeast region of Brazil”, *Water*, vol. 13, N° 12, junio.
- Rodrigues, D. T. y otros (2020), “Spatial and temporal assessment of the extreme and daily precipitation of the Tropical Rainfall Measuring Mission satellite in Northeast Brazil”, *International Journal of Remote Sensing*, vol. 41, N° 2.
- Santos, D. J. y otros (2020), “Future rainfall and temperature changes in Brazil under global warming levels of 1.5°C, 2°C and 4°C”, *Sustainability in Debate*, vol. 11, N° 3.
- SEDEC (Secretaría Nacional de Protección y Defensa Civil) (2016), Sistema Integrado de Informações sobre Desastres (S2ID) [en línea] <http://szid.mi.gov.br/> [fecha de consulta: diciembre de 2023].
- SUDENE (Superintendencia de Desarrollo del Nordeste) (2017), “Delimitação do semiárido” [en línea] <http://antigo.sudene.gov.br/delimitacao-do-semiarido> [fecha de consulta: 6 de junio de 2023].
- Tian, D., E. Wood y X. Yuan (2017), “CFSv2-based sub-seasonal precipitation and temperature forecast skill over the contiguous United States”, *Hydrology and Earth System Sciences*, vol. 21, N° 3.
- Tominaga L., J. Santoro y R. Amaral (coords.) (2009), *Desastres naturais: conhecer para prevenir*, São Paulo, Instituto Geológico.
- Torres, R. y otros (2012), “Socio-climatic hotspots in Brazil”, *Climatic Change*, vol. 115, mayo.
- Valadão, C. y otros (2017), “Impacts of the Madden-Julian oscillation on intraseasonal precipitation over Northeast Brazil”, *International Journal of Climatology*, vol. 37, N° 4, marzo.
- Vale, T. M. C. y otros (2023), “Climate and water balance influence on agricultural productivity over the Northeast Brazil”, *Theoretical and Applied Climatology*, vol. 155, N° 2, octubre.
- Valencio, N. S. (2014), “Desastres: tecnicismo e sofrimento social”, *Ciência & Saúde Coletiva*, vol. 19, N° 9, septiembre.
- Valencio, N. S., A. Valencio y M. Baptista (2023), “The interface of disasters, sanitation, and poverty in Brazil: a sociological perspective”, *Frontiers in Sustainable Cities*, vol. 5, mayo.

- Van Loon, A. (2015), "Hydrological drought explained", *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, vol. 2, N° 4, julio-agosto.
- Vermunt, J. y J. Magidson (2002), "Latent class cluster analysis", *Applied Latent Class Analysis*, J. A. Hagenaars y A. L. McCutcheon (eds.), Cambridge University Press.
- Xavier, A. C., C. W. King y B. R. Scanlon (2016), "Daily gridded meteorological variables in Brazil (1980–2013)", *International Journal of Climatology*, vol 36, N° 6.
- Yaworsky, P. M., S. T. Hussain y F. Riede (2023), "Climate-driven habitat shifts of high-ranked prey species structure Late Upper Paleolithic hunting", *Scientific Reports*, vol. 13, N° 1.
- Zhang, X. y F. Yang (2004), *RClimDex(1.0): manual del usuario*, Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno de El Niño (CIIFEN).

Anexo

Cuadro A1
**Brasil: estadísticas descriptivas de los índices geofísicos y de precipitaciones extremas
y las características demográficas de las regiones semiárida y del Nordeste**

Dimensión/indicador	Región semiárida					Región del Nordeste				
	Media	Mediana	SD	Máx.	Mín.	Media	Mediana	SD	Máx.	Min.
Índices de climas extremos										
rx1day	51,17	50,32	7,8	86,58	33,76	55,55	54,08	10,99	103,64	33,76
rx5day	106,51	105,66	15,62	155,73	72,16	114,87	112,00	21,63	197,45	72,16
scli	8,07	8,07	1,55	12,19	5,20	8,29	8,19	1,62	15,67	5,20
r10mm	24,07	23,57	6,6	50,00	11,56	30,33	27,03	12,43	74,97	11,56
r20mm	9,00	8,59	3,16	21,18	3,21	11,60	10,15	5,83	36,24	3,21
cdd	71,38	68,88	30,93	148,00	18,21	59,89	52,09	31,21	148,00	13,65
cwd	12,81	11,97	3,56	27,44	6,06	15,27	13,47	5,97	43,71	6,06
r95ptot	187,14	178,72	41,91	396,64	108,77	236,62	209,47	86,96	544,18	108,77
Total de precipitaciones	780,83	754,90	181,11	428,10	1 496,22	982,88	864,73	366,61	2 263,15	428,09
Índices socioeconómicos										
Tasa de mortalidad infantil	26,21	25,15	5,48	13,40	45,40	27,19	26,30	5,86	13,40	46,80
Tasa total de dependencia	56,69	56,57	5,41	41,23	79,55	57,39	57,03	6,62	29,17	92,05
Tasa de analfabetismo	27,88	27,82	5,97	7,01	44,40	27,29	27,70	6,67	3,97	44,40
Coeficiente de Gini	0,52	0,52	0,05	0,36	0,79	0,53	0,52	0,05	0,36	0,79
Porcentaje de hogares sin un sistema de recolección de residuos adecuado	92,20	95,36	9,51	0,00	100,00	88,95	94,60	15,43	0,00	100,00
Porcentaje de hogares sin un sistema de saneamiento adecuado	16,67	13,78	11,93	0,00	66,50	17,73	14,51	12,95	0,00	73,01
Porcentaje de hogares con paredes inadecuadas	5,60	3,23	6,75	0,00	51,51	9,82	5,10	12,84	0,00	82,74
Porcentaje de personas que residen en zonas urbanas	52,85	52,40	18,41	8,91	98,16	55,22	54,54	19,71	8,32	100,00
Porcentaje de personas pobres	66,33	67,24	8,28	32,11	86,20	66,93	67,99	9,54	5,12	91,57
Índices geofísicos										
Elevación	412,60	399,41	224,14	4,27	1 243,92	307,36	264,24	223,75	0,00	1 243,92
Desastres naturales										
Inundaciones	0,75	0,00	1,01	0,00	6,00	0,67	0,00	0,97	0,00	6,00
Inundaciones repentinas	0,86	1,00	1,06	0,00	11,00	0,97	1,00	1,27	0,00	12,00
Sequías/períodos secos	16,07	17,00	5,30	0,00	38,00	11,09	12,00	7,95	0,00	38,00

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro A2
Brasil: frecuencias absolutas y relativas y probabilidades condicionales de las respuestas, λ_{kjl} , por perfiles de desastres, de precipitaciones extremas y de condiciones socioeconómicas, región semiárida

Variable	Cuartil	Número	Porcentaje	λ_{1jl}	λ_{2jl}	λ_{3jl}	λ_{4jl}
Tamaño del conjunto				N=349	N=281	N=308	N=324
Número de sequías	I1	316	0,0250	0,0813	0,0649	2,7596	0,0000
	I2	316	0,0250	0,0834	1,0427	0,0882	1,2089
	I3	315	0,0250	0,0811	1,3998	0,0353	1,3810
	I4	315	0,0250	1,5436	0,0909	0,0000	1,4126
Número de inundaciones	I1	316	0,0250	0,0505	1,9385	0,0693	0,0998
	I2	316	0,0250	2,6027	0,0000	0,0665	0,0341
	I3	315	0,0250	0,0604	1,1498	0,0865	1,4671
	I4	315	0,0250	0,0285	0,0912	1,7796	1,1963
Número de inundaciones repentinas	I1	316	0,0250	0,0000	2,5619	2,0755	0,0000
	I2	316	0,0250	1,1178	0,0490	1,1741	1,1266
	I3	315	0,0250	1,4908	0,0944	0,0156	1,2067
	I4	315	0,0250	1,3942	0,0000	0,0590	1,6694
Elevación	I1	316	0,0250	0,0354	1,7983	2,3694	0,0000
	I2	316	0,0250	1,1126	0,0797	0,0562	1,3690
	I3	315	0,0250	1,2528	1,3041	0,0600	0,0817
	I4	315	0,0250	1,2824	0,0099	0,0466	1,8165
rx1day	I1	316	0,0250	3,6151	0,0570	0,0000	0,0000
	I2	316	0,0250	0,0379	3,4242	0,0000	0,0000
	I3	315	0,0250	0,0000	0,0000	0,0317	3,3986
	I4	315	0,0250	0,0000	0,0000	3,6890	0,0608
rx5day	I1	316	0,0250	3,9937	0,0000	0,0000	0,0000
	I2	316	0,0250	0,0000	3,9937	0,0000	0,0000
	I3	315	0,0250	0,0000	0,0000	0,0000	4,0063
	I4	315	0,0250	0,0000	0,0000	4,0063	0,0000

Variable	Cuartil	Número	Porcentaje	λ_{1j}	λ_{2j}	λ_{3j}	λ_{4j}
Tamaño del conjunto				N=349	N=281	N=308	N=324
sdii	I1	316	0,0250	3,9937	0,0000	0,0000	0,0000
	I2	316	0,0250	0,0000	2,7924	0,0549	0,0505
	I3	315	0,0250	0,0000	1,2051	0,0666	2,1390
	I4	315	0,0250	0,0000	0,0000	2,7900	1,3606
r10mm	I1	316	0,0250	3,2257	0,0000	0,0000	0,0000
	I2	316	0,0250	0,0768	3,1135	0,0000	0,0671
	I3	315	0,0250	0,0000	0,0883	0,0000	3,3329
	I4	315	0,0250	0,0000	0,0000	4,0063	0,0000
r20mm	I1	316	0,0250	3,9937	0,0000	0,0000	0,0000
	I2	316	0,0250	0,0000	3,9937	0,0000	0,0000
	I3	315	0,0250	0,0000	0,0000	0,0000	4,0063
	I4	315	0,0250	0,0000	0,0000	4,0063	0,0000
cdd	I1	316	0,0250	2,0240	0,0000	1,5995	0,0000
	I2	316	0,0250	1,9697	0,0000	0,0960	0,0673
	I3	315	0,0250	0,0000	1,8161	0,0419	2,1174
	I4	315	0,0250	0,0000	2,1903	1,0196	1,2135
c wd	I1	316	0,0250	2,4936	0,0000	0,0000	1,1402
	I2	316	0,0250	1,0304	1,4944	0,0000	1,5344
	I3	315	0,0250	0,0471	0,0989	1,2480	1,3233
	I4	315	0,0250	0,0000	1,5184	2,7584	0,0000
r95ptot	I1	316	0,0250	3,0336	0,0911	0,0000	0,0000
	I2	316	0,0250	0,0141	3,0823	0,0000	1,3335
	I3	315	0,0250	0,0822	0,0000	0,0604	2,6686
	I4	315	0,0250	0,0000	0,0000	3,4022	0,0000
Tasa de mortalidad infantil	I1	316	0,0250	0,0000	0,0349	0,0393	2,8227
	I2	316	0,0250	0,0709	1,2217	1,3990	0,0806
	I3	315	0,0250	1,4423	1,2263	1,0981	0,0366
	I4	315	0,0250	1,8525	1,2043	1,1110	0,0000
Tasa total de dependencia	I1	316	0,0250	0,0000	0,0494	0,0000	2,7744
	I2	316	0,0250	0,0592	1,0092	1,1546	1,2193
	I3	315	0,0250	1,5761	1,2945	1,5012	0,0000
	I4	315	0,0250	1,8365	1,2035	1,3469	0,0000

Variable	Cuartil	Número	Porcentaje	$\lambda_{1j }$	$\lambda_{2j }$	$\lambda_{3j }$	$\lambda_{4j }$
Tamaño del conjunto				N=349	N=281	N=308	N=324
Tasa de analfabetismo	I1	316	0,0250	0,0000	0,0000	0,0000	3,0148
	I2	316	0,0250	1,3483	0,0733	1,0475	0,0979
	I3	315	0,0250	1,0004	1,7207	1,6923	0,0000
	I4	315	0,0250	1,6530	1,5501	1,2628	0,0000
Coeficiente de Gini	I1	316	0,0250	0,0574	0,0336	0,0291	2,4761
	I2	316	0,0250	1,2892	0,0942	0,0994	0,0800
	I3	315	0,0250	0,0803	1,7924	1,4343	0,0196
	I4	315	0,0250	1,3349	0,0933	1,2828	0,0524
Porcentaje de hogares sin un sistema de recolección de residuos adecuado	I1	316	0,0250	0,0295	1,6686	2,3139	0,0000
	I2	316	0,0250	0,0607	1,6043	1,0571	0,0858
	I3	315	0,0250	1,3245	0,0496	0,0345	1,6550
	I4	315	0,0250	1,7772	0,0227	0,0280	1,4908
Porcentaje de hogares sin un sistema de saneamiento adecuado	I1	316	0,0250	0,0000	0,0000	1,0264	2,5528
	I2	316	0,0250	0,0500	0,0905	1,2105	1,3483
	I3	315	0,0250	1,4599	1,6771	1,0172	0,0093
	I4	315	0,0250	2,0448	1,4215	0,0746	0,0000
Porcentaje de hogares con paredes inadecuadas	I1	316	0,0250	1,1737	0,0703	0,0000	1,9365
	I2	316	0,0250	1,4166	0,0795	0,0357	1,3606
	I3	315	0,0250	1,0425	1,1302	1,1999	0,0699
	I4	315	0,0250	0,0365	1,3746	2,4479	0,0000
Porcentaje de personas que residen en zonas urbanas	I1	316	0,0250	1,3786	1,4908	1,3850	0,0000
	I2	316	0,0250	1,1550	1,0835	1,0200	0,0806
	I3	315	0,0250	1,1025	1,4235	1,1630	0,0479
	I4	315	0,0250	0,0362	0,0000	0,0430	2,7187
Porcentaje de personas pobres	I1	316	0,0250	0,0000	0,0000	0,0000	2,9949
	I2	316	0,0250	0,0775	1,1670	1,1298	0,0999
	I3	315	0,0250	1,8017	1,1290	1,5517	0,0000
	I4	315	0,0250	1,4275	1,7067	1,3213	0,0000

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro A3

Brasil: estadísticas descriptivas y pruebas no paramétricas de las diferencias entre los perfiles en función de los índices geofísicos y de precipitaciones extremas y las características sociodemográficas de la región semiárida

Dimensión/indicador	Comparaciones entre perfiles							
	General (Kruskall-Wallis)		Prueba de Dunn					
	Mediana	DF	1 x 2	1 x 3	1 x 4	2 x 3	2 x 4	3 x 4
Índices de climas extremos								
rx1day	696,23	(3)***	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
rx5day	827,14	(3)***	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
sdi	683,29	(3)***	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
r10mm	760,45	(3)***	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
r20mm	918,77	(3)***	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
cdd	267,07	(3)***	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0142	0,0017
cwd	326,23	(3)***	<0,0001	<0,0001	0,0650	<0,0001	<0,0001	<0,0001
r95ptot	537,80	(3)***	0,0570	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0200	<0,0001
Índices socioeconómicos								
Tasa de mortalidad infantil	156,16	(3)***	0,1124	<0,0001	<0,0001	0,0067	<0,0001	<0,0001
Tasa total de dependencia	210,52	(3)***	0,0950	1,0000	<0,0001	0,9870	<0,0001	<0,0001
Tasa de analfabetismo	153,58	(3)***	0,6590	0,9670	<0,0001	0,0240	<0,0001	<0,0001
Coefficiente de Gini	49,76	(3)***	0,0165	0,0774	0,0031	1,0000	<0,0001	<0,0001
Porcentaje de hogares sin un sistema de recolección de residuos adecuado	171,3	(3)***	<0,0001	<0,0001	1,0000	0,015	<0,0001	<0,0001
Porcentaje de hogares sin un sistema de saneamiento adecuado	273,81	(3)***	0,0003	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Porcentaje de hogares con paredes inadecuadas	157,79	(3)***	0,0008	<0,0001	0,6754	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Porcentaje de personas que residen en zonas urbanas	51,26	(3)***	1,0000	1,0000	<0,0001	1,0000	<0,0001	<0,0001
Porcentaje de personas pobres	235,07	(3)***	0,7100	1,0000	<0,0001	0,6700	<0,0001	<0,0001
Índices geofísicos								
Elevación	85,3	(3)***	0,0005	<0,0001	0,0453	0,4984	<0,0001	<0,0001
Desastres naturales								
Inundaciones	124,28	(3)***	1,0000	<0,0001	1,0000	<0,0001	1,0000	<0,0001
Inundaciones repentinas	68,8	(3)***	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0430	1,0000	0,0150
Sequías/períodos secos	61,44	(3)***	<0,0001	<0,0001	1,0000	<0,0001	<0,0001	<0,0001

Fuente: Elaboración propia.