

APROXIMACIÓN A LA ELABORACIÓN DE UN ÍNDICE DE RIESGO DE SEQUÍA EN EL NORDESTE DE BRASIL

Óscar MARCOS VALIENTE

Dept. Geografia Física i A.G.R. Universitat de Barcelona

RESUMEN

La sequía en el Nordeste de Brasil ha sido objeto de numerosos estudios climáticos, que han puesto de manifiesto la elevada variabilidad pluviométrica, tanto en la escala espacial como en la temporal, que caracteriza a esta región. El artículo presenta, a través de la cartografía, los componentes que configuran esta variabilidad, y sugiere la posibilidad de elaborar un índice cuantitativo para valorizar el elevado riesgo de sequía en el Nordeste.

Palabras clave: Nordeste de Brasil, riesgo climático, precipitación, sequía.

ABSTRACT

Northeast Brazil droughts' have been the aim of many climatic researches, revealing the high pluviometric variability that characterizes the region, both in spatial and temporal scales. The article presents, through cartography, the components that configure this variability, and suggests the possibility of elaborating a quantitative index to valorize the risk of drought in the Northeast.

Key words: Climatic risk, drought, Northeast Brazil, rain.

1. INTRODUCCIÓN

El clima del Nordeste de Brasil ha recibido una gran atención de la comunidad científica durante todo el siglo XX, debido al interés que ha generado la presencia de una región semiárida en latitudes casi ecuatoriales, y por las graves consecuencias económicas y sociales producidas por las sequías, que han afectado a la región periódicamente. El lector puede encontrar descripciones detalladas de los climas nordestinos en ANDRADE (1968), ANDRADE y LINS (1992), MARQUES (1998), RATISBONA (1976), o SUDENE (1981). Del conjunto de parámetros climáticos analizados por estos autores, el más destacado es el pluviométrico, dado que es el que presenta mayores variaciones, tanto espaciales como temporales, de tal manera que la variabilidad de las precipitaciones en el Nordeste es la más elevada del planeta si no consideramos las áreas desérticas. Bajo estas condiciones climáticas, la sequía es parte integrante no sólo del clima nordestino, sino de la cultura del sertão, la región semiárida situada en el interior del Nordeste.

Sin embargo, el elevado riesgo de sequía en el Nordeste no deriva exclusivamente de la variabilidad pluviométrica que caracteriza el clima del sertão, sino que depende de otros tres factores, según señalan PITA (1989) y MARTÍN-VIDE (1998): la persistencia de la sequía (que establece su duración

más probable), la homogeneidad pluviométrica en la región afectada (que determinará su extensión), y el volumen de precipitaciones (cuanto más escasa sea la lluvia, mayor será el riesgo de padecer sequía). La propuesta de elaboración de una herramienta que permita valorizar el riesgo de sequía en el Nordeste presentada en este artículo, incluye tres de los cuatro factores antes mencionados (la homogeneidad pluviométrica se encuentra implícita en el índice cuando éste es aplicado a un área geográfica relativamente amplia, lo que posibilita establecer una cartografía de riesgos y establecer su extensión), y añade un componente adicional, la estacionalidad de las precipitaciones, dado que el riesgo de sequía se incrementa cuando el ciclo anual de lluvias se presenta en forma de una corta estación húmeda y un prolongado período seco, y se reduce si la precipitación es homogénea durante el año.

2. PARÁMETROS PLUVIOMÉTRICOS Y SEQUÍA EN EL NORDESTE

El análisis de la pluviometría en el Nordeste, considerando exclusivamente los valores de precipitación media anual, puede ofrecernos la falsa impresión de que en esta región la sequía no debería constituir un problema de primera magnitud. Nada más lejos de la realidad, puesto que pese a registrarse lluvias superiores a 1.600 mm en el litoral oriental y en el extremo occidental, entre 800 y 1.200 mm en el agreste (relieve paralelo al litoral oriental), e inferiores a 800 mm anuales sólo en el interior, su elevada estacionalidad y variabilidad interanual producen períodos de fuerte carestía hídrica.

La figura 1 presenta una aproximación a la distribución estacional de las precipitaciones, mostrando la proporción de lluvia recogida en los cuatro meses consecutivos más lluviosos respecto a la media anual. En casi todo el Nordeste la lluvia se concentra en más de dos tercios durante ese cuatrimestre, incrementándose el porcentaje hasta más del 75% en Ceará y en la mitad occidental de Rio Grande y Paraíba. Por el contrario, en el litoral oriental y en toda la mitad este de Bahia el porcentaje se reduce a menos de un 65%, registrándose la menor concentración estacional de las precipitaciones en el centro-este de Bahia, con menos de un 45%. Tan elevada estacionalidad pluviométrica provoca una gran sensibilidad ante cualquier mínima variación que pueda producirse en el sistema oceánico-atmosférico, puesto que de darse las circunstancias propicias para que la época de lluvias quede debilitada, habrán de pasar casi ocho meses para recoger nuevas precipitaciones. Estas condiciones se producen de forma recurrente y generan períodos secos de larga duración.

El análisis presentado en páginas anteriores ya permite intuir que las lluvias deben ser irregulares, pero considerando sólo los valores medios de precipitación, su distribución y la estacionalidad pluviométrica no contamos con suficientes argumentos para explicar la sistemática configuración de sequías en la región. Es necesario, por tanto, extender el análisis a otros conceptos como el de variabilidad o el de persistencia, mediante el cálculo del coeficiente de variación (cociente entre la desviación típica y la media anual en cada una de las estaciones) y de la probabilidad de año seco tras año seco, respectivamente. El estudio de estos parámetros, realizado con los datos de precipitación recogidos en SUDENE (1990) para 139 estaciones (Alagoas, 4; Bahia, 33; Ceará, 22; Maranhão, 18; Minas Gerais, 5; Paraíba, 9; Pernambuco, 14; Piauí, 21; Rio Grande do Norte, 9; Sergipe, 4), se presenta en forma de mapas en las figuras 1, 2 y 3

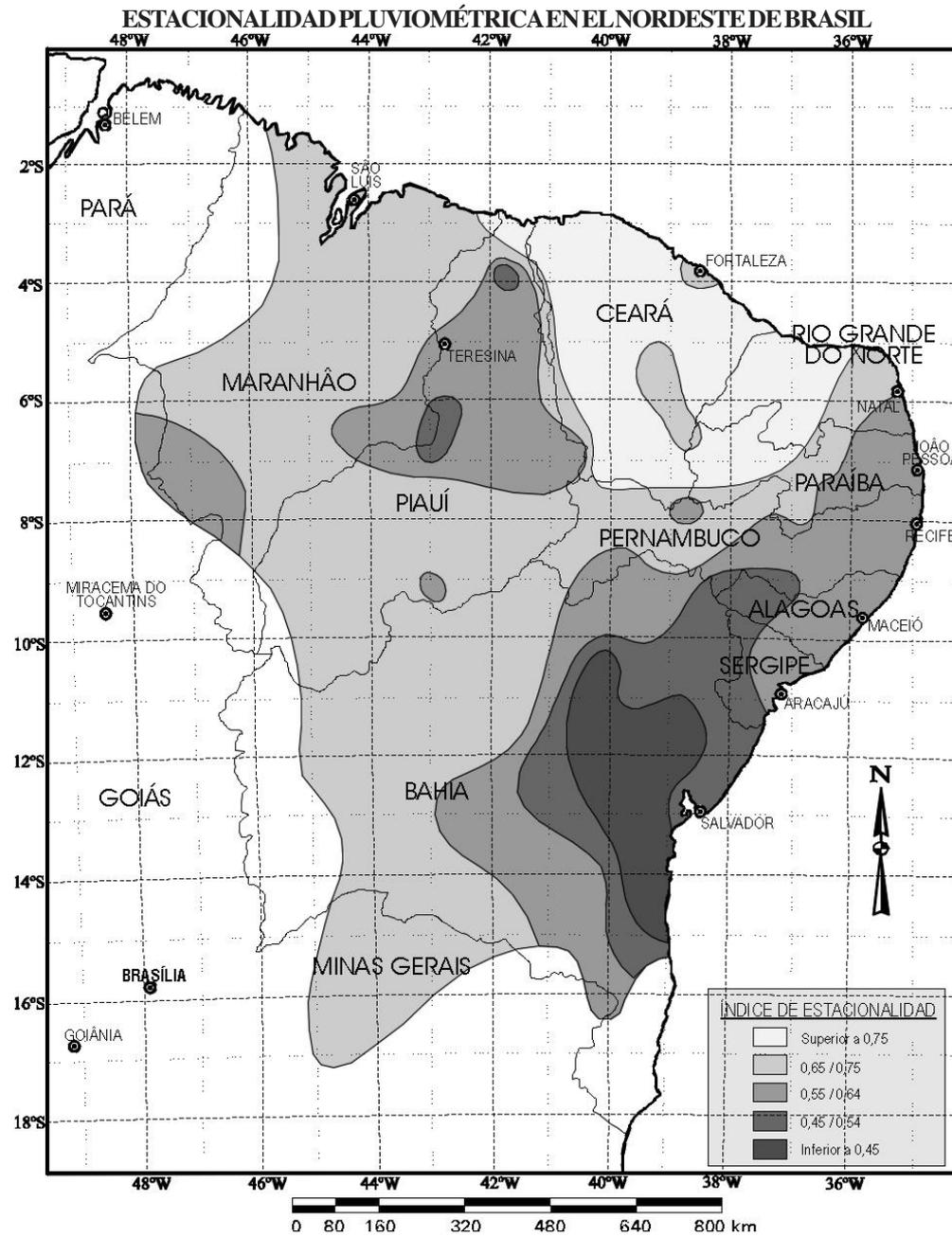


Figura 1. Índice de estacionalidad pluviométrica en el Nordeste, calculado según la relación entre las precipitaciones del cuatrimestre más lluvioso y la media anual. El valor máximo esperado es 1, y el mínimo de 0,33. Elaboración propia.

En la figura 2 se presenta la distribución espacial del coeficiente de variación (CV), poniendo de manifiesto una fuerte variabilidad interanual en casi toda la región, a excepción del centro y sur de Maranhão, sur de Piauí, noroeste y sudeste de Bahia, y norte de Minas Gerais, donde el coeficiente (expresado en porcentajes) muestra una variación inferior al 30%. Los valores máximos se localizan en el litoral de Piauí, en todo el estado de Ceará, en todo Rio Grande do Norte y Paraíba (a excepción del litoral oriental), en la mitad occidental de Pernambuco y en el extremo norte de Bahia, donde la variación interanual es superior al 40% y, localmente en Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba y Pernambuco, incluso supera el 50%.

La persistencia de la sequía (probabilidad de año seco después de año seco, considerando como año seco aquél con precipitación inferior a la media), según muestra la figura 3, presenta una configuración similar al resto de parámetros analizados, aunque en este caso las áreas de menor (mayor) precipitación no se corresponden necesariamente con una mayor (menor) persistencia. Así, en el Nordeste la sequía es más persistente en los dos tercios orientales de la región (más del 55%), independientemente de su media pluviométrica anual, mientras que en el sudoeste de Maranhão y Piauí, oeste y sudeste de Bahia, y noroeste de Minas Gerais la probabilidad se reduce hasta valores inferiores al 55%. Los valores de persistencia en el Nordeste se ajustan bien con calculados con este mismo método para diversos ámbitos climáticos: en regiones húmedas en torno al 50%, en zonas semiáridas se supera el 60%, y en regiones áridas son superiores al 70%. Destaca, no obstante, la anomalía de los valores de persistencia en el litoral nororiental del Nordeste (dada su abundancia pluviométrica, sería de esperar una menor persistencia de la sequía), la cual se justifica por la génesis de sus precipitaciones, muy ligada a fuertes variaciones de posición de la zona de convergencia intertropical, y a anomalías de temperatura oceánica en el Atlántico (HASTENRATH, 1984; HASTENRATH y HELLER, 1977; CHU, 1991).

Exceptuando los valores medios de precipitación anual, que son incluso superiores a los de zonas húmedas en latitudes medias, todos los parámetros presentados permiten hablar de un elevado riesgo de sequía en la región: fuerte estacionalidad, gran variabilidad interanual y elevada persistencia de la sequía (medida por la probabilidad de que a un año seco le siga otro año seco). Con los resultados obtenidos, y utilizando los mismos indicadores analizados en páginas anteriores, el próximo apartado aborda la composición y formulación de un índice de riesgo de sequía (IRS).

3. ÍNDICE DE RIESGO DE SEQUÍA: FORMULACIÓN Y RESULTADOS

La concreción de los cuatro parámetros de riesgo de sequía analizados en forma de un índice sintético se fundamenta en la diferenciación de dos tipologías de indicadores. Por un lado, aquellos que reflejan tanto elementos propios del extremo climático (sequía), como el componente pluviométrico del clima (aridez): precipitación media, estacionalidad y variabilidad. En el otro lado de la balanza, un indicador que sólo contempla el factor sequía, pero no el de aridez: la persistencia de la sequía. Para evitar el riesgo de que el IRS se convirtiera sólo en un nuevo índice de medida de la aridez, se ha optado por otorgar un mayor peso al último indicador, de tal manera que éste puntúa tanto como los otros tres. Así, la fórmula del IRS es la siguiente: $IRS = \{ [(Ip + Ie + Iv) / 3] + Ip_{00} \} / 2$, donde Ip es el indicador de la precipitación neta media anual, Ie es el indicador de estacionalidad pluviométrica, Iv es el indicador de variabilidad, e Ip_{00} es el indicador de persistencia de la sequía.

COEFICIENTE DE VARIACIÓN PLUVIOMÉTRICA - NORDESTE DE BRASIL

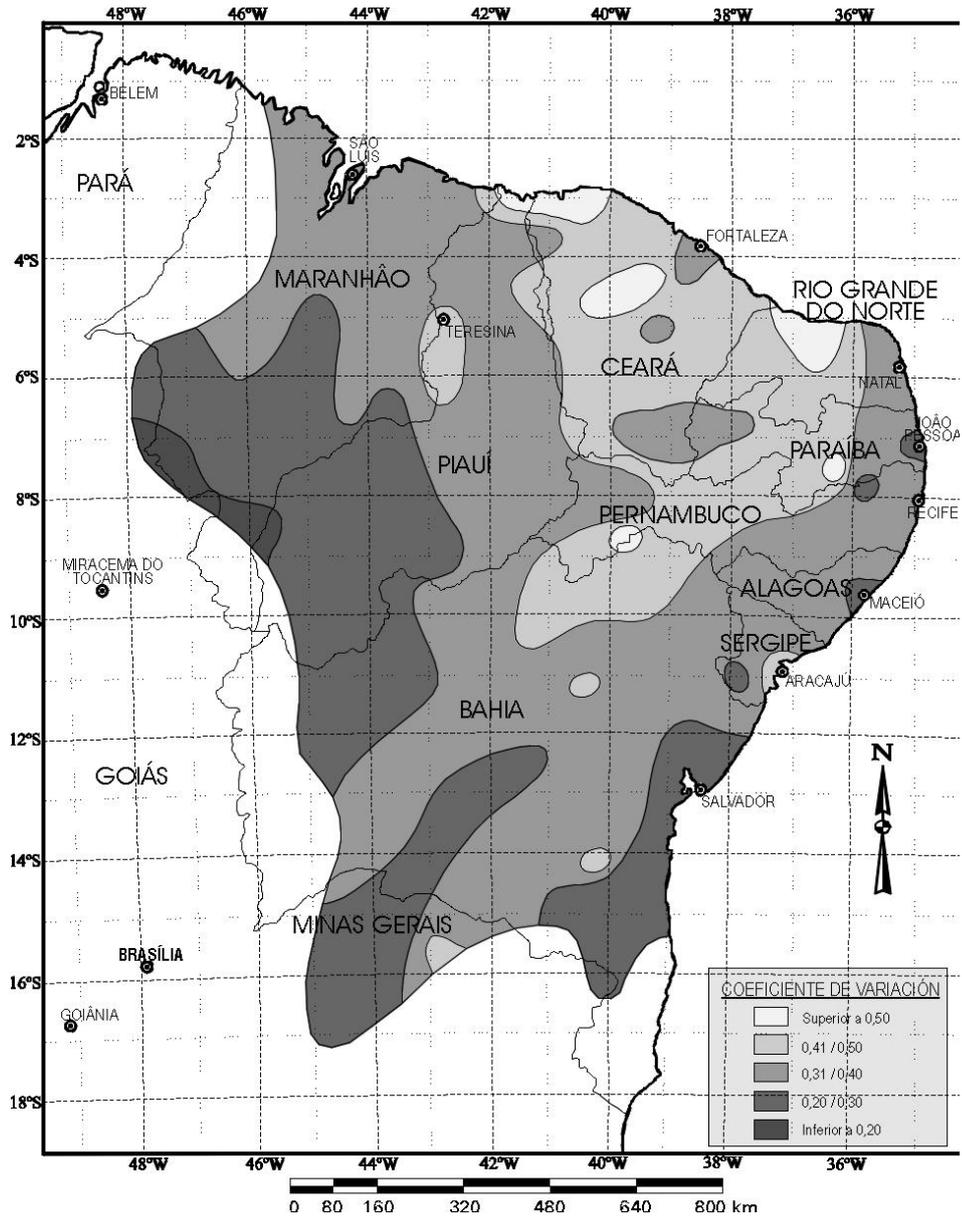


Figura 2. Distribución espacial del coeficiente de variación pluviométrica, calculado según el cociente entre la desviación típica y la precipitación media anual, en la región Nordeste de Brasil. Elaboración propia.

En el cálculo de I_p ($I_p = \{1 - [(p - 20t) / 2000]\}$), el máximo teórico de precipitación se ha situado en 2000 mm (en el conjunto del planeta son pocas las regiones con precipitación superior, y a todas se les aplica el valor 1), para evitar una excesiva amplitud de valores, y para su cálculo, al valor de precipitación media (en mm) se le ha restado el doble de la temperatura media anual (en décimas de °C). Se ha desestimado la aplicación del valor estimado de evapotranspiración potencial, pero en el Nordeste de Brasil el resultado de precipitación neta resultaría negativo en casi todos los casos. En todo caso, si el resultado de precipitación neta es negativo, el indicador adquiere valor 0.

Para los indicadores I_e ($I_e = [Est - 0,35] / [1 - 0,35]$), I_v ($I_v = [cv - 0,1] / [1 - 0,1]$) e $I_{p_{00}}$ ($I_{p_{00}} = [p_{00} - 0,3] / [0,8 - 0,3]$), los valores se han estandarizado mediante un máximo y un mínimo teóricos, obtenidos a partir del cálculo de los indicadores para diversas estaciones características de las principales tipologías climáticas.

Los resultados del cálculo del IRS para la región Nordeste de Brasil se ofrecen en la figura 4, mostrando resultados bastante significativos, y con una disposición espacial bien definida. En el tercio occidental del Nordeste el riesgo de sequía es relativamente bajo (inferior a 0,5), en coherencia con la abundancia y regularidad de las precipitaciones, mientras que en Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, y en el entorno de Petrolina - Juazeiro (límite entre Bahia y Pernambuco), el riesgo es medianamente elevado (superior a 0,60), en consonancia con una pluviometría más irregular, de marcada estacionalidad y menor abundancia. Entre estos dos extremos, se registran valores de riesgo medio (entre 0,5 y 0,6) en el norte de Bahia, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, litoral de Paraíba y Rio Grande do Norte, y centro-norte de Piauí.

Para relativizar estos resultados (ver tabla I), cabe concluir que el riesgo de sequía en el interior Nordeste es alto, pero menor que en otros ámbitos semiáridos como el de Chile o el de Argentina, mientras que los valores de riesgo en las áreas nordestinas más húmedas son claramente más elevados que en otras regiones de clima parecido.

ÁREA	CLIMA	VALOR IRS
Litoral norte de Chile	Árido-desértico	0,80 - 0,95
Litoral de Perú	Árido-desértico	0,80 - 0,90
Litoral central de Chile	Semiárido	0,70 - 0,75
Interior de la región Nordeste de Brasil	Semiárido	0,55 - 0,70
Nordeste de Argentina	Semiárido	0,40 - 0,50
Litoral sur de Chile	Oceánico húmedo	0,30 - 0,35
Islas Británicas	Oceánico húmedo	0,25 - 0,30
Amazonia Brasileña	Ecuatorial húmedo	0,10 - 0,30

Tabla I. Valores preliminares de referencia para el índice de riesgo de sequía en diversas zonas geográficas.

PERSISTENCIA DE LA SEQUÍA EN EL NORDESTE DE BRASIL

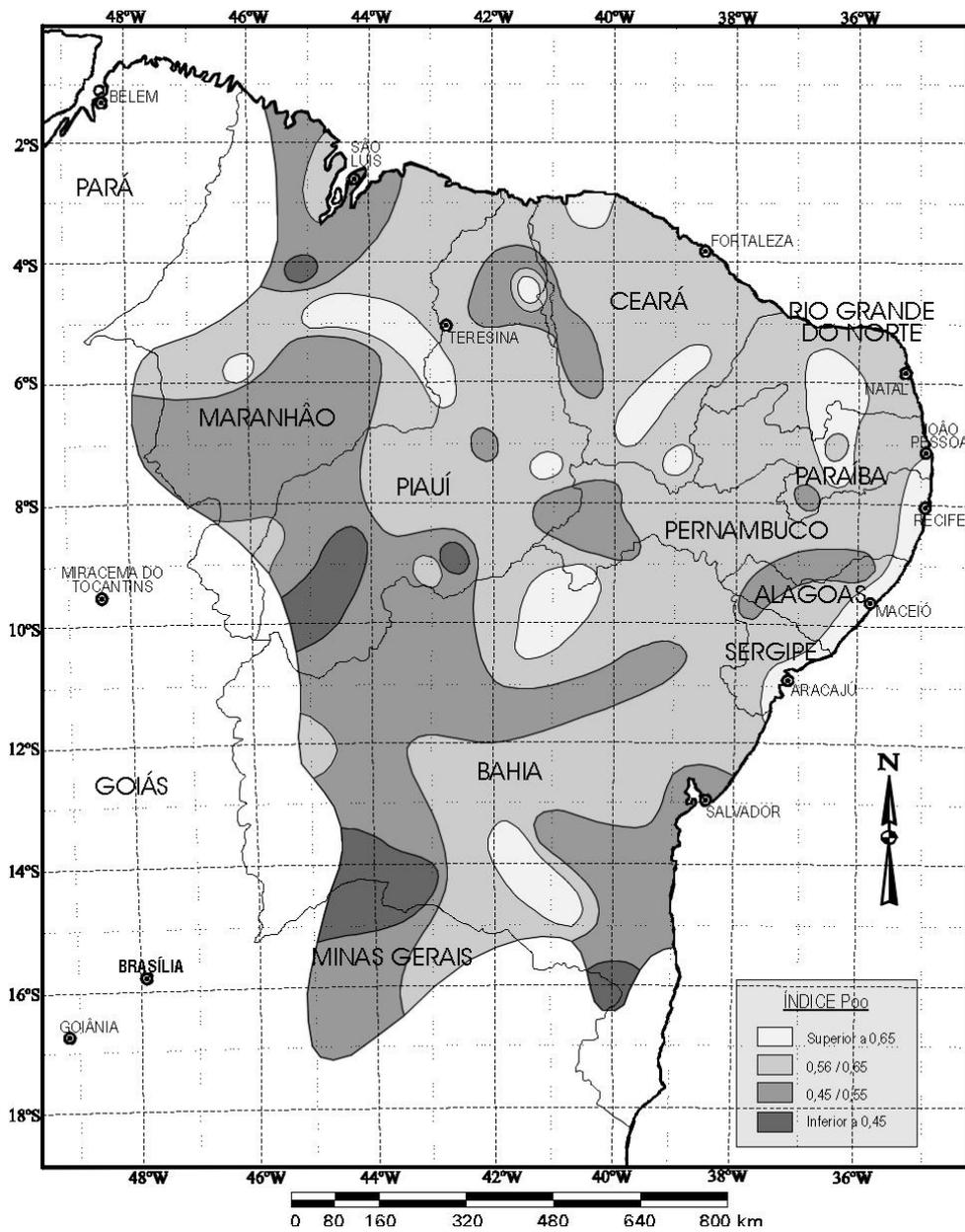


Figura 3. Distribución espacial del índice de persistencia de sequía, calculado como la probabilidad de que un año seco sea seguido por otro año seco, entendiendo por año seco aquél que registra precipitación inferior a la media anual. Elaboración propia.

Teniendo en cuenta los primeros cálculos del índice aplicados a diferentes zonas geográficas con características climáticas diferenciadas, pueden establecerse los siguientes límites de referencia: si el IRS es superior a 0,80 el riesgo es muy alto, entre 0,60 y 0,80 el riesgo es alto, entre 0,40 y 0,60 el riesgo es medio, entre 0,20 y 0,40 el riesgo es bajo, y para un IRS inferior a 0,20 el riesgo es muy bajo. Por tanto, en el Nordeste de Brasil el riesgo de sequía es alto en el sertão norte, medio en el sertão sur, en casi la totalidad de Piauí y Maranhão, en el norte de Minas Gerais, y en el litoral oriental desde Rio Grande hasta Sergipe, y bajo en el litoral de Bahia, en el extremo occidental de Maranhão y en el sur de Piauí.

Este índice, todavía en proceso de perfeccionamiento, es susceptible de correcciones que permitan una mayor flexibilidad para su aplicación en otras regiones y en ámbitos climáticos diversos. En cualquier caso, su simplicidad facilita el cálculo incluso en regiones con reducida disponibilidad de datos.

Los primeros resultados calculados para algunas regiones semiáridas de América Latina permiten afirmar que el IRS es válido fuera del ámbito para el que fue creado, y que podría convertirse en una herramienta útil de planeamiento, ya que permite identificar con claridad dentro de una misma región dónde se sitúa el mayor riesgo de sequía (para así realizar una mejor aplicación de recursos en la creación de infraestructuras hídrica), y posibilita comparar el riesgo de sequía en entornos geográficos diversos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, G.O. de (1968): 'Os climas', en: AZEVEDO, A. (Org.): *Brasil a Terra e o Homem*. Ed. Nacional, 2ª ed. São Paulo. (pp. 397-462).
- ANDRADE, G.O. de y LINS, R.C. (1992): *Os climas do Nordeste*. Universidade Federal de Pernambuco (Col. Notas e Comunicações de Geografia. Série B: Textos Didáticos, 11). Recife. 61 pp.
- CHU, P.-S. (1991): "Brazil's climate anomalies and ENSO", en: GLANTZ, M.H., KATZ, R.W. y NICHOLLS, N.: *Teleconnections Linking Worldwide Climate Anomalies*. Cambridge University Press. Cambridge. 535 págs. (pp. 43-71).
- HASTENRATH, S. (1984): "Interannual variability and annual cycle: mechanisms of circulation and climate in the tropical Atlantic sector". *Monthly Weather Review*, **112**, 1097-1107.
- HASTENRATH, S. y HELLER, L. (1977): "Dynamics of climatic hazards in Northeast Brazil", *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, **103**, 77-92.
- MARQUES, R.L.M. (1998): *Diretrizes para um plano de ação do BNB (1991-95): recursos naturais do Nordeste, caracterização, uso e potencial*. BNB/ETENE. Fortaleza. 255 pp.
- MARTÍN-VIDE, J. (1998): "Cambios en el sistema climático: escalas, métodos y efectos (desertificación)", en: *Anales del Seminario Internacional sobre Inserción del Semiárido Latinoamericano en el Proceso de Globalización de la Economía Mundial*. IPA - UNIFACS. Salvador, pp. 515-528.

DISTRIBUCIÓN DEL ÍNDICE DE RIESGO DE SEQUÍA EN EL NORDESTE

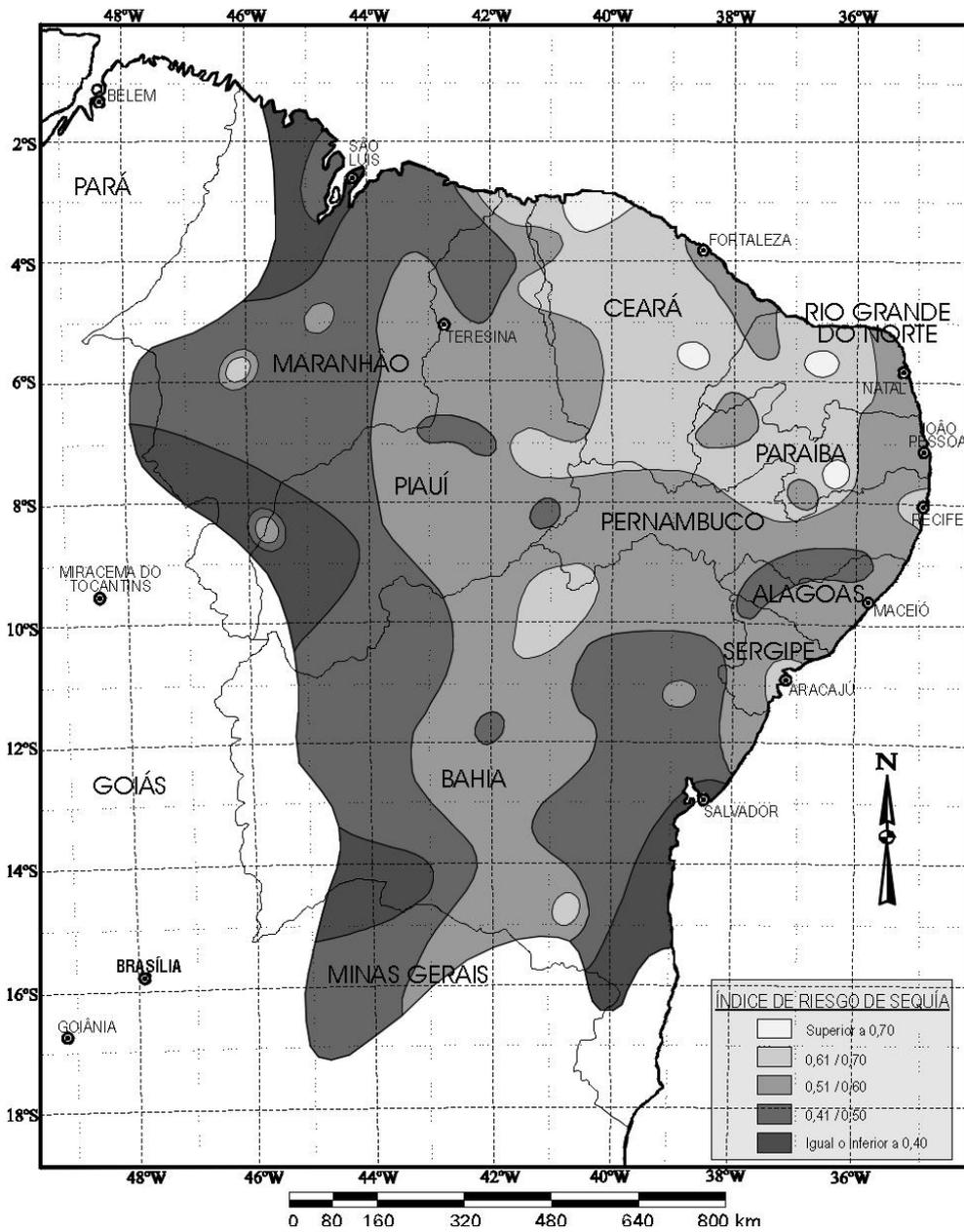


Figura 4. Distribución espacial del índice de riesgo de sequía en la región Nordeste de Brasil. Elaboración propia

- PITA, M^a F. (1989): 'La sequía como desastre natural. Su incidencia en el ámbito español'. *Norba. Revista de Geografía* (Cáceres, Universidad de Extremadura), VI-VII, pp. 31-61.
- RATISBONA, L.R. (1976): 'The climate of Brazil' *World survey of climatology*, Vol. 12. Elsevier. New York. (pp. 219-269).
- SUDENE (1981): *As secas do Nordeste. Uma abordagem histórica de causas e efeitos*. Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste. Recife. 82 pp + 38 mapas.
- SUDENE (1990): *Dados pluviométricos mensais do Nordeste*. Superintendencia do Desenvolvimento do Nordeste. Recife. Serie Pluviometria (Vol. 1: Maranhão; Vol. 2: Piauí; Vol. 3: Ceará; Vol. 4: Rio Grande do Norte; Vol. 5: Paraíba; Vol. 6: Pernambuco; Vol. 7: Alagoas; Vol. 8: Sergipe; Vol. 9: Bahia; Vol. 10: Minas Gerais).

