



# Generation of climatic series for thermo-pluviometric characterization of the Brazilian semiarid (1981-2015)

Iker García-Garizábal <sup>a,b</sup>, Raphael Abrahão <sup>b</sup> & Susane Eterna Leite Medeiros <sup>b</sup>

<sup>a</sup> TRAGSATEC, Tecnologías y Servicios Agrarios S.A, Madrid, Spain. [ikerggarizabal@gmail.com](mailto:ikerggarizabal@gmail.com)

<sup>b</sup> Departamento de Engenharia de Energias Renováveis, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, Paraíba, Brasil. [raphael@cear.ufpb.br](mailto:raphael@cear.ufpb.br); [susane.eterna@gmail.com](mailto:susane.eterna@gmail.com)

Received: April 19<sup>th</sup>, 2020. Received in revised form: September 21st, 2020. Accepted: October 13<sup>th</sup>, 2020

## Abstract

This study aims to construct homogeneous precipitation and temperature series for the period 1981-2015, for the study and characterization of the semiarid intertropical region of Brazil. Data from 61 weather stations allowed the generation of 29 homogeneous temperature and precipitation series using statistical and correlation techniques. Precipitations presented high temporal and spatial heterogeneity with a dry and a wet season, as well as rainfall between October-April in the South area and between January-June in the North. Regarding temperature, despite its low variability, the wide spatial coverage and limited data availability of the series did not allow a clear identification of groups of stations, as the analysis discriminated isolated stations. The construction of homogeneous climatic series has been a significant step forward the spatial characterization of this tropical semiarid region, which can also be employed as a base scenario for the development of climate studies and water resource management.

*Keywords:* precipitation; temperature; climate data; semiarid intertropical region of Brazil.

# Generación de series climáticas para caracterización termo-pluviométrica del semiárido brasileño (1981-2015)

## Resumen

Este trabajo aborda la creación de series homogéneas de precipitación y temperatura entre 1981-2015 para estudio y caracterización de la región intertropical semiárida de Brasil. 61 estaciones climatológicas permitieron generar 29 series homogéneas de precipitación y temperatura mediante uso de técnicas estadísticas y de correlación. La precipitación presentó alta heterogeneidad espaciotemporal, con una estación húmeda y otra seca, y lluvias entre octubre-abril al sur pero que al norte se concentraron en enero-junio. Para la temperatura, la amplia extensión y baja disponibilidad de series, junto a la pequeña variabilidad de los registros, no permitió identificar de forma clara grupos de estaciones, al discriminar la mayoría de análisis estaciones aisladas. La creación de series climáticas ha supuesto un importante paso en la caracterización espacial de esta peculiar región tropical semiárida, así como para el desarrollo de estudios climáticos y de gestión de recursos hídricos en la región.

*Palabras clave:* precipitación; temperatura; datos climáticos; región intertropical semiárida de Brasil.

## 1. Introduction

El semiárido brasileño es una de las regiones semiáridas más habitadas del mundo, con una población de más de 26 millones de personas (16 % de la población de Brasil) y vulnerable a las condiciones climáticas y degradación ambiental que afectan a sus recursos naturales [1].

La región presenta una notable variabilidad espaciotemporal en la precipitación, con una estación seca en

agosto-octubre y una lluviosa en noviembre-mayo con unos aportes próximos a 400 mm/año [2-4]. La temperatura media asciende a más de 23 °C, con una tasa de evapotranspiración que supera los 2000 mm/año [5], presentado la zona un déficit hídrico próximo al 70 % [2].

El semiárido también es propenso a eventos recurrentes de sequía e inundación asociados a fenómenos de clima extremo, destacando la influencia de las condiciones de los Océanos Atlántico y Pacífico [6,7]. Así mismo, durante la

temporada lluviosa es común la existencia de periodos secos que, dependiendo de la intensidad y la duración, causen daños severos para la subsistencia de la zona [7-9].

Esta variabilidad de los fenómenos climáticos tiene un efecto directo sobre los recursos hídricos o la agricultura, impactando en el desarrollo socioeconómico de la población y requiriendo de la implementación de tecnologías apropiadas para adaptación y convivencia con estas condiciones de clima cambiante [6,7,10].

En este sentido, el análisis de las tendencias de las variables climáticas es una útil herramienta para el estudio de la evolución del clima de una región determinada [11-14]. Los cambios climáticos pueden entenderse como la variabilidad estadística de un estado climático promedio, que pueden ser comparados y estudiados a través de series históricas de variables meteorológicas como temperatura del aire, precipitación o nubosidad [15].

De esta manera, aunque se han desarrollado estudios enfocados en el análisis de extremos climáticos en el semiárido brasileño, la heterogeneidad de las series empleadas y la ausencia de series completas de al menos 30 años recomendadas por la Organización Meteorológica Mundial [16] y el Panel Intergubernamental de Expertos para el Cambio Climático [15], han dificultado la integración de los resultados a distintos niveles [2,5-7].

Así, el objetivo del trabajo es la construcción de series homogéneas de temperatura y precipitación entre 1981-2015 para caracterización y estudio de su distribución espacial en el semiárido brasileño, uno de los extremos climáticos áridos más extenso y menos estudiado del cinturón tropical sudamericano.

## 2. Metodología

### 2.1. Área de estudio

La zona de estudio se emplaza en la región más nor-oriental de Brasil. Está limitada al norte y este por el Océano Atlántico, y al sur y oeste por la región de Brasil continental, cubriendo una extensión de 1,020,470 km<sup>2</sup>. Debido a su gran superficie, la topografía es bastante irregular, con una altura media de 479 msnm. El relieve presenta una ligera pendiente regional W-SW, con una cota máxima de 2033 m en su zona central-sur que desciende hasta el nivel del mar al norte y oeste (Fig. 1). El clima general se clasifica según Koppen [17] como árido, con los subclimas Semiárido cálido (BSh) y Árido cálido (BWh) predominando en la región central, así como Tropical con invierno seco (Aw) en zonas topográficamente más bajas.

### 2.2. Descripción de los datos y control de calidad

La zona dispone de 61 estaciones climáticas gestionadas por el Instituto Nacional de Meteorología (INMET), permitiendo un registro de temperatura y precipitación en la región desde 1896 hasta la actualidad (Tabla 1).

Dado que la Organización Meteorológica Mundial [16] y el Panel Intergubernamental de Expertos para el Cambio

Climático [15] recomiendan para estudios climáticos el uso de series de datos de los últimos 30 años, se estableció 1981-2015 como periodo de base, que incluye el periodo más reciente recomendado para el cálculo de normales climáticas 1981-2010.

La metodología utilizada en este trabajo se basó en la aplicación de técnicas estadísticas y de correlación para la generación de series climáticas homogéneas, proceso ampliamente utilizado y descrito en detalle en otros trabajos [18-21], si bien a continuación se describen los principales procesos.

Primero, las series de datos de los observatorios fueron testadas atendiendo a una serie de criterios de control de calidad [18,22] como existencia de valores extremos, inhomogeneidades (cambios bruscos en la tendencia de una variable), ausencia de datos puntuales debido a cambios en instrumentos, paradas de actividad o errores de medición. Asimismo, las series candidatas presentaron un máximo de 25% de datos faltantes.

Posteriormente, las series de referencia fueron construidas a partir de una matriz de correlaciones entre series climáticas, siempre y cuando ambas estaciones no estuvieran separadas más de 30 km y presentaran valores de correlación mayores a 0,7 [18].

Aunque tradicionalmente los trabajos proponen limitar el radio de actuación de las estaciones a distancias inferiores a 100 km y cuyas altitudes no excedan los 500 m de altura [19], dada la amplia extensión de la zona, carencia de series homogéneas previas y alto porcentaje de datos faltantes, el criterio correlación prevaleció sobre distancia para procurar la generación de series válidas. Altos índices de correlación indican áreas con una similar dinámica climática, facilitando el proceso de generación de series temporales en áreas con baja disponibilidad de datos [23-25]. Las series fueron finalmente calculadas usando las cinco mejores estaciones candidatas, corregidas a partir del coeficiente de correlación (eq. 1).

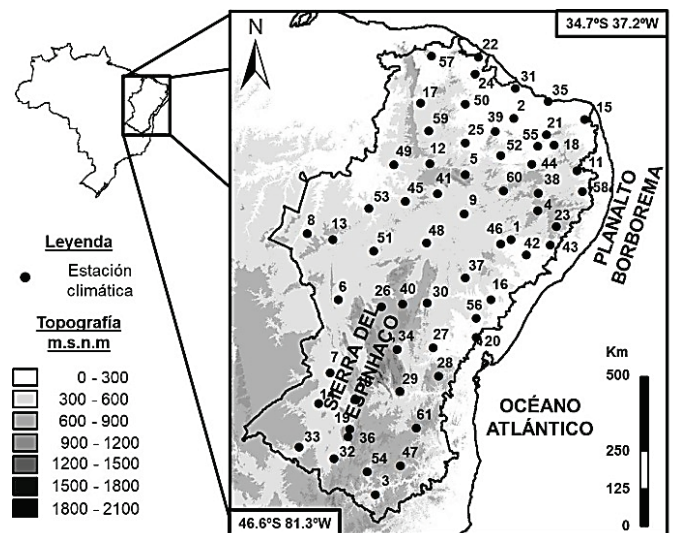


Figura 1. Localización de la región semiárida de Brasil y ubicación de las estaciones climáticas (Tabla 1).

Fuente: Los Autores.

Tabla 1.

Estaciones de temperatura y precipitación, localización en el semiárido (Estado, Latitud, Longitud, Altitud) e inicio de los registros.

Estación	Nombre	Estado	Lat. (S)	Long (W)	Alt.	Inicio
1	ÁGUA BRANCA	PB	-9.3	-37.9	608.8	1928
2	APODI	RN	-5.6	-37.8	232.0	1962
3	ARAÇUAÍ	MG	-16.8	-42.1	289.8	1918
4	ARCOVERDE	PE	-8.4	-37.1	682.0	1973
5	BARBALHA	CE	-7.3	-39.3	408.1	1948
6	BARRA	BA	-11.1	-43.2	402.7	1925
7	BOM JESUS LAPA	BA	-13.3	-43.4	441.0	1941
8	BOM JESUS PIAUÍ	PI	-9.1	-44.1	333.9	1971
9	CABROBÓ	PE	-8.5	-39.3	342.5	1927
10	CAETITÉ	BA	-14.1	-42.6	881.4	1907
11	CAMPINA GRANDE	PB	-7.2	-35.9	543.7	1911
12	CAMPOS SALES	CE	-7.0	-40.4	584.9	1960
13	CARACOL	PI	-9.3	-43.3	524.2	1975
14	CARINHANHA	BA	-14.2	-43.8	440.2	1927
15	CEARÁ MIRIM	RN	-5.7	-35.7	62.6	1967
16	CIPÓ	BA	-11.1	-38.5	145.4	1935
17	CRATEUS	CE	-5.2	-40.7	299.6	1962
18	CRUZETA	RN	-6.4	-36.6	227.0	1930
19	ESPINOSA	MG	-14.9	-42.8	570.4	1974
20	FEIRA SANTANA	BA	-12.2	-39.0	233.7	1939
21	FLORÂNIA	RN	-6.1	-36.8	325.3	1962
22	FORTALEZA	CE	-3.8	-38.9	27.0	1919
23	GARANHUNS	PE	-8.9	-36.5	823.0	1913
24	GUARAMIRANGA	CE	-4.3	-39.0	872.9	1911
25	IGUATU	CE	-6.4	-39.3	216.0	1911
26	IRECÉ	BA	-11.3	-41.9	749.0	1970
27	ITABERABA	BA	-12.5	-40.3	251.3	1931
28	ITIRUÇU	BA	-13.4	-40.1	756.9	1941
29	ITUAÇU	BA	-13.8	-41.3	532.8	1973
30	JACOBINA	BA	-11.2	-40.5	480.7	1912
31	JAGUARUANA	CE	-4.7	-37.8	12.6	1914
32	JANAÚBA	MG	-15.8	-43.3	516.0	1975
33	JANUÁRIA	MG	-15.5	-44.4	474.6	1912
34	LENÇÓIS	BA	-12.6	-41.4	441.2	1931
35	MACAU	RN	-5.1	-36.8	4.2	1908
36	MONTE AZUL	MG	-15.2	-42.9	604.7	1974
37	MONTE SANTO	BA	-10.4	-39.3	465.8	1913
38	MONTEIRO	PB	-7.9	-37.1	604.7	1940
39	MORADA NOVA	CE	-6.0	-38.4	44.4	1962
40	MORRO CHAPÉU	BA	-11.2	-41.2	1004.7	1913
41	OURICURI	PE	-7.9	-40.2	460.7	1975
42	PÃO DE AÇUCAR	SE	-9.8	-37.4	80.1	1927
43	PALMEIRA ÍNDIOS	AL	-9.5	-36.7	275.5	1928
44	PATOS	PB	-7.0	-37.3	249.4	1975
45	PAULISTANA	PI	-8.1	-41.1	375.2	1975
46	PAULO AFONSO	AL	-9.4	-38.2	253.9	1951
47	PEDRA AZUL	MG	-16.0	-41.3	649.9	1918
48	PETROLINA	PE	-9.4	-40.5	371.7	1941
49	PICOS	PI	-7.0	-41.5	208.9	1923
50	QUIXERAMOBIM	CE	-5.2	-39.3	211.1	1896
51	REMANSO	BA	-9.6	-42.1	401.8	1927
52	SÃO GONCALO	PB	-6.8	-38.2	233.9	1938
53	SÃO JOÃO PIAUÍ	PI	-8.4	-42.3	236.1	1975
54	SALINAS	MG	-16.2	-42.3	472.1	1925
55	SERIDÓ	RN	-6.5	-37.1	170.7	1995
56	SERRINHA	BA	-11.6	-39.0	361.5	1904
57	SOBRAL	CE	-3.7	-40.3	110.0	1919
58	SURUBIM	PE	-7.8	-35.7	418.8	1929
59	TAUÁ	CE	-6.0	-40.4	399.6	1962
60	TRIUNFO	PB	-7.8	-38.1	1029.5	1953
61	VITÓRIA	BA	-14.9	-40.8	876.9	1936
	CONQUISTA					

Fuente: Los Autores.

$$C_{R,i} = \frac{(C_{R1,i} \cdot R_1^2) + \dots + (C_{R5,i} \cdot R_5^2)}{(R_1^2 + \dots + R_5^2)} \quad (1)$$

de donde  $C_{R,i}$  es la variable climática (temperatura media o precipitación mensual) de la serie de referencia  $R$  en el mes  $i$ ,  $C_{Rn,i}$  es el valor de la variable climática de la estación  $R_n$  en el mes  $i$  y  $R_n^2$  es el coeficiente de correlación entre la serie de la estación candidata y la estación de referencia.

El software RHtestV4 [26] fue usado para chequear la presencia de posibles inhomogeneidades en las series de referencia, causada por cambios en los instrumentos de mediación, lecturas, emplazamiento de estaciones o influencia de otra serie de factores no climáticos. El software puede detectar y corregir uno o más puntos de cambio en las series de datos basados en los Penalized Maximal F-Test o Penalized Maximal t-Test [27,28].

### 2.3. Análisis estadístico

Además de análisis estadísticos basados en datos de temperatura y precipitación mensual, a fin de evitar ruidos registros asociados a meses individuales, se desarrollaron análisis trimestrales y anuales. En este sentido, la distribución trimestral correspondió con Diciembre-Enero-Febrero (DEF), Marzo-Abril-Mayo (MAM), Junio-Julio-Agosto (JJA) y Septiembre-October-Noviembre (SON).

Por último, para la comparación de series de datos y su agrupación en familias se empleó el método de Kruskal-Wallis [29], considerándose grupos significativamente diferentes unos de otros a una probabilidad de error menor al 5 % ( $p < 0.05$ ), y de análisis clúster [30], con formación de grupos jerárquicos por el método de Ward utilizando como medida de similitud la distancia euclídea al cuadrado.

### 3. Resultados y discusión

Debido a que ninguna serie presentó registro continuo de información entre 1981-2015, y que la mayoría de las estaciones con datos continuos se implantaron a partir de 1992, sólo en 12 estaciones pudo ejecutarse el proceso de reconstrucción de series de temperatura y precipitación.

La limitación en la información de base hizo que sólo se reconstruyeran al 100 % las series Salinas (P-Precipitación,  $T_{max}$  -Temperatura máxima) y Araçuaí ( $T_{max}$ ), así como 10 estaciones con un máximo de 10 % de datos faltantes. No obstante, los test de homogeneidad fueron superados en todas las series, considerándose la información obtenida válida para la caracterización climática de la región.

Así, aunque la distribución de las estaciones climáticas en el semiárido brasileño no fue la óptima, con observatorios separados más de los 100 km recomendados, fueron construidas 29 series homogéneas de clima para la caracterización pluviométrica y térmica de la región.

Tabla 2.

Número-% de datos mensuales faltantes en las series de precipitación (P), temperatura máxima (Tmax) y mínima (Tmin) de la zona de estudio tras finalizar el proceso de reconstrucción de series temporales.

Estación	Código	Nombre	P	Tmax	Tmin
			n° - % datos faltantes		
3	83442	ARAÇUAÍ	1 - 0.2	0 - 0	8 - 1.9
4	82890	ARCOVERDE	SD	16 - 3.8	13 - 3.1
7	83288	BOM JESUS LAPA	8 - 1.9	8 - 1.9	8 - 1.9
18	82693	CRUZETA	34 - 8.1	21 - 5.0	43 - 10.2
19	83338	ESPINOSA	8 - 1.9	8 - 1.9	9 - 2.1
32	83395	JANAÚBA	3 - 0.7	SD	SD
33	83386	JANUÁRIA	3 - 0.7	6 - 1.4	8 - 1.9
36	83388	MONTE AZUL	3 - 0.7	7 - 1.7	8 - 1.9
39	82588	MORADA NOVA	SD	3 - 0.7	SD
48	82983	PETROLINA	SD	23 - 5.5	30 - 7.1
54	83441	SALINAS	0 - 0	0 - 0	8 - 1.9
58	82797	SURUBIM	SD	16 - 3.8	8 - 1.9

(SD: Sin datos).

Fuente: Los Autores.

### 3.1. Precipitación (P)

La precipitación media anual entre 1981-2015 fue de 749.9 mm, con una variabilidad interanual en las estaciones del 28-41 %. La aportación máxima anual con 1553.6 mm se registró en la estación más sur-occidental Januária, mientras que la mínima de 195.8 mm se observó en la estación nor-oriental de Cruzeta, en el extremo opuesto (Fig. 1, Tabla 3).

Las precipitaciones medias mensuales presentaron una clara estacionalidad, con un 94 % de las lluvias entre octubre y abril. Sin embargo, la temporada de lluvias en el semiárido pudo delimitarse considerando los meses en que ocurrieron al menos el 6 % de la precipitación anual, mismo porcentaje ocurrido entre mayo y septiembre. De esta manera, se identificaron dos zonas

con estación de lluvias pero en diferentes intervalos temporales: 1) zona norte con precipitaciones entre enero y junio formada únicamente por estación Cruzeta, y 2) zona sur que agrupa las estaciones restantes con lluvias entre octubre y abril. En este sentido, Moscati y Gan [5] ya identifican una similar variabilidad en la estacionalidad de las precipitaciones en la región más noreste de Brasil, con lluvias en el sector norte de febrero a mayo [31] mientras que en la zona sur se ocurren entre noviembre y abril [3,4].

Diciembre resultó el mes más lluvioso de la región, con una P media anual de 159.4 mm y un máximo de 527.5 mm en Januária. Por otro lado, mientras los aportes mínimos de lluvia ocurren mayoritariamente entre junio-agosto, la estación Cruzeta difiere respecto al resto de estaciones con valores mínimos de P en septiembre-noviembre (Tabla 3).

Aunque de manera general la lluvia en el semiárido presentó un similar comportamiento, se distinguieron familias de estaciones en diferentes intervalos temporales. Anualmente se diferenciaron hasta cuatro grupos de estaciones, si bien no resultaron del todo significativos al asociarse los mismos puntos en diferentes grupos. A pesar de ello, se identificaron con una menor ocurrencia precipitación las estaciones Cruzeta, Espinosa, Araçuaí y Bom Jesus da Lapa (649.8 mm), frente a las de máxima lluvia Salinas y Januária (867.9 mm; Fig.2).

A escala trimestral, Cruzeta forma un grupo independiente al resto de estaciones de junio a febrero, con un característico comportamiento de la lluvia. Mientras en JJA registra un máximo de precipitación de 41.9 mm frente a las casi nulas lluvias del resto de la región, en SON las lluvias en este punto son mínimas frente a los 160-250 mm del resto del semiárido. Por otro lado, las lluvias en Cruzeta DEF resultaron un 55 % menores (Fig. 2).

Tabla 3.

Valores medios de precipitación mensual, trimestral (DEF, MAM, JJA, SON) y anual (medio, máximo y mínimo) en las estaciones del semiárido de Brasil en el periodo 1981-2015.

Precipitación (mm)	Araçuaí (mm)	Bom Jesus Lapa (mm)	Cruzeta (mm)	Espinosa (mm)	Janaúba (mm)	Januária (mm)	Monte Azul (mm)	Salinas (mm)	Media (mm)
Ene	106.6	117.0	74.0	106.7	134.2	150.7	124.2	117.4	116.4
Feb	67.6	88.9	93.2	69.0	69.7	106.3	84.1	74.1	81.6
Mar	103.8	111.9	137.6	99.6	107.4	144.4	115.6	119.9	117.5
Apr	32.0	49.8	147.6	35.4	33.5	43.3	33.4	41.4	52.0
May	16.5	12.9	72.1	8.3	7.3	8.4	5.3	15.5	18.3
Jun	3.2	2.5	35.9	1.0	1.8	2.9	2.1	4.5	6.7
Jul	4.6	1.3	18.0	1.2	1.0	1.6	0.9	5.5	4.3
Ago	5.9	3.5	10.8	1.4	3.3	2.0	1.5	3.9	4.0
Sep	12.7	14.9	3.4	8.0	9.3	9.8	11.8	14.3	10.5
Oct	51.9	55.6	3.7	45.1	49.2	60.2	51.1	67.8	48.1
Nov	146.4	129.5	5.4	126.1	155.6	180.5	133.0	168.6	130.6
Dic	168.5	179.1	27.1	155.8	171.3	214.5	174.8	184.3	159.4
DEF	310.7	347.2	156.9	311.2	358.2	439.2	339.9	330.6	324.2
MAM	141.7	152.2	323.5	131.1	183.1	201.7	130.5	163.3	178.4
JJA	11.2	0	41.9	1	4.6	0.2	1	9.3	8.7
SON	218.3	201.3	3.6	162.8	206.6	250.8	208.3	248.1	187.5
Año	680.7	743.5	573.7	614.6	730.2	974.2	740.0	808.3	732.9
Max año	1330.5	1193.4	1199.7	1229.5	1312.8	1553.6	1160.7	1411.5	
Min año	376.4	455.1	195.8	217.4	359.8	545.8	299.3	457.2	
CV año	31%	28%	38%	41%	29%	29%	29%	28%	
Max mes	459	427.9	409.2	450.2	453.6	527.5	460.5	486.1	
Min mes	0	0	0	0	0	0	0	0	
CV mes	97%	94%	99%	101%	104%	102%	101%	96%	

(Max: Máximo; Min: Mínimo; CV: Coeficiente de Variación).

Fuente: Los Autores.

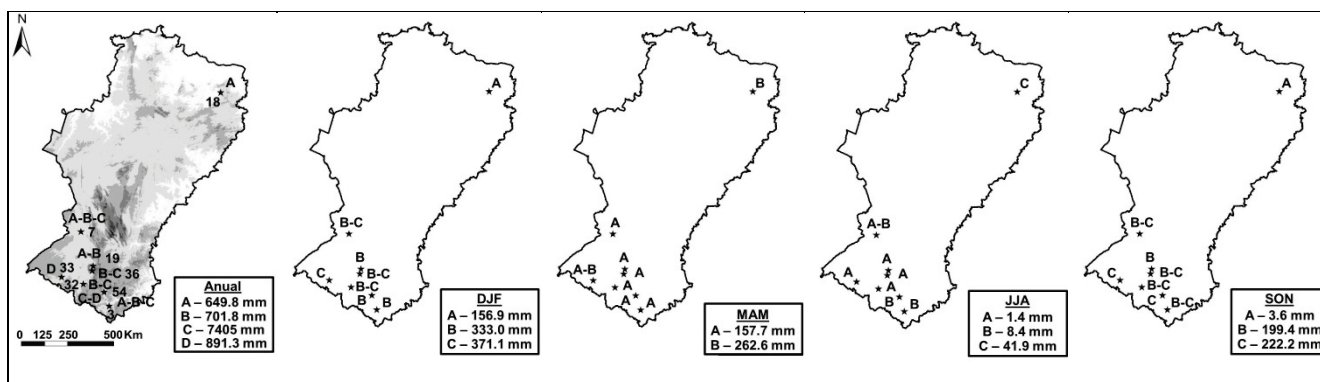


Figura 2. Distribución espacial de la precipitación anual y trimestral (DEF, MAM, JJA, SON) y agrupación de estaciones mediante el método de Kruskall-Wallis en la región semiárida de Brasil entre 1981-2015. Los números hacen referencian al código de la estación climática utilizada. Fuente: Los Autores.

Tabla 4.

Valores de temperatura máxima media mensual, trimestral (DEF, MAM, JJA, SON) y anual (medio, máximo y mínimo) en las estaciones de la región semiárida de Brasil en el periodo 1981-2015.

Temperatura máxima (°C)	Araçaúai	Arcoverde	Bom Jesus Lapa	Cruzeta	Espinosa	Januária	Monte Azul	Morada Nova	Petrolina	Salinas	Surubim	Media
Ene	33.2	31.8	32.1	34.8	31.1	31.1	31.2	34.7	33.2	31.4	31.6	32.4
Feb	34.4	31.5	32.8	34.4	32.2	32.1	32.0	34.1	33.2	32.3	31.6	32.8
Mar	33.4	31.2	32.4	33.6	31.7	31.6	31.2	33.2	32.8	31.7	31.3	32.2
Apr	32.3	29.6	32.2	32.8	31.2	31.6	31.1	32.6	32.1	30.6	30.5	31.5
May	30.7	27.9	32.2	32.4	30.5	31.1	30.3	32.4	31.3	29.4	29.0	30.7
Jun	29.5	26.2	31.7	31.5	29.3	30.4	29.0	32.2	30.1	28.2	27.1	29.6
Jul	29.4	25.5	31.6	31.7	29.0	30.4	28.9	33.0	29.7	28.2	26.3	29.4
Ago	30.7	26.6	32.9	32.7	30.3	31.7	30.1	34.2	30.7	29.6	27.0	30.6
Sep	32.2	29.2	34.8	34.2	32.1	33.5	32.0	35.3	32.6	31.5	28.9	32.4
Oct	33.4	31.3	35.2	35.4	32.8	34.0	32.7	35.9	34.0	32.0	30.6	33.4
Nov	32.2	32.3	33.0	35.6	31.2	31.7	31.0	35.8	34.2	30.8	31.6	32.7
Dic	32.3	32.2	32.2	35.5	30.9	31.0	30.8	35.6	33.8	30.9	31.9	32.4
DEF	33.8	31.9	32.5	35.1	31.4	31.7	31.6	35.0	33.6	31.7	31.8	32.7
MAM	32.3	29.6	32.2	32.8	31.3	31.6	30.9	32.5	32.0	30.9	30.5	31.5
JJA	30.1	25.8	32.2	32.0	29.8	31.0	29.4	33.3	30.2	28.8	27.0	30.0
SON	32.7	31.0	34.8	35.1	32.3	33.4	32.2	35.7	33.6	31.7	30.4	33.0
Año	32.2	29.5	32.9	33.8	31.3	31.8	31.0	34.2	32.4	30.8	29.9	31.8
Max año	34.1	30.9	34.8	35.2	32.8	33.9	33.2	35.4	33.4	32.6	31.3	
Min año	30.1	28.5	31.0	32.2	29.3	29.6	29.0	32.3	31.0	28.9	28.9	
CV año	2.8%	2.0%	2.4%	2.1%	2.5%	2.7%	2.9%	2.0%	1.7%	2.7%	1.8%	
Max mes	37.5	33.9	38.1	36.9	35.8	37.6	36.3	36.9	36.6	35.8	34.6	
Min mes	26.9	23.9	28.1	29.8	26.7	26.8	25.5	29.9	28.1	24.8	25.0	
CV mes	5.0%	8.4%	3.5%	4.4%	3.6%	3.5%	3.7%	4.0%	4.7%	4.6%	6.9%	

(Max: Máximo; Min: Mínimo; CV: Coeficiente de Variación).

Fuente: Los Autores.

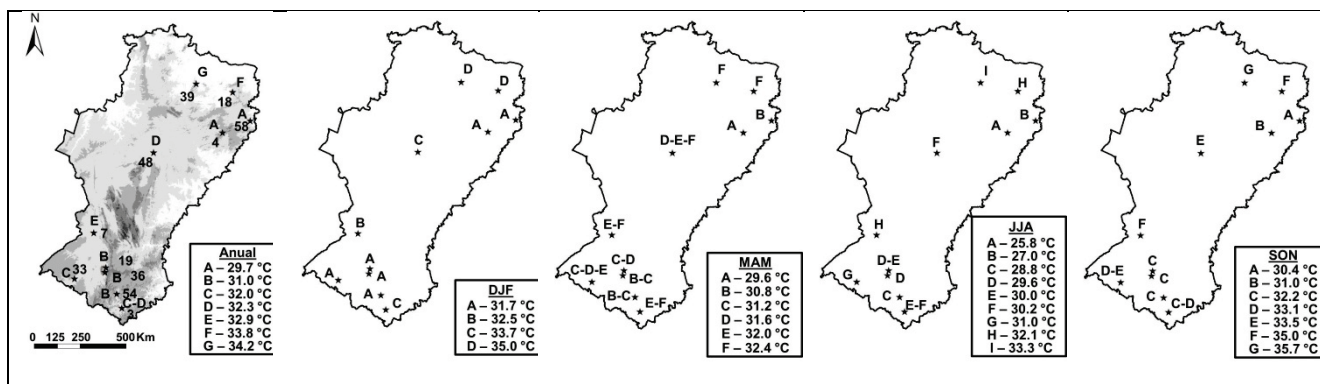


Figura 3. Distribución espacial de temperatura máxima anual y trimestral (DEF, MAM, JJA, SON) y agrupación de estaciones mediante el método de Kruskal-Wallis en el semiárido brasileño entre 1981-2015. Los números hacen referencian al código de la estación climáticas.

Fuente: Los Autores.

De igual modo, mientras que los meses de abril, mayo y junio las lluvias en Cruzeta resultaron en torno a 5, 10 y 15 veces a las ocurridas en el resto del territorio, en octubre, noviembre y diciembre las precipitaciones fueron casi inexistentes en dicha estación, pero muy abundantes en el resto de la región.

Por lo tanto, a pesar de las similares características pluviométricas que presenta el semiárido, con un régimen de precipitaciones que abarca de octubre a abril, en la zona norte se observa retraso en el periodo de ocurrencia de las lluvias de enero a junio, así como un volumen anual de precipitaciones hasta un 25 % inferior al del resto de la región.

### 3.2. Temperatura máxima ( $T_{max}$ )

La  $T_{max}$  media anual fue de 31.7 °C con una baja variabilidad (CV = 7.6%), oscilando entre 33.5 °C en octubre y 29.5 °C en julio. Un valor máximo de 33.5 °C se registró en la estación sur-occidental de Bom Jesus da Lapa en octubre de 2015, mientras que un mínimo de 23.9 °C se observó en el observatorio nor-oriental de Arcoverde, en el extremo opuesto de la región (Fig. 3; Tabla 4).

Las estaciones se agruparon de acuerdo a su  $T_{max}$  media anual en una familia de estaciones costeras nor-occidentales de menor temperatura (Surubim y Arcoverde), una familia de estaciones interiores en la región sur de temperatura baja-intermedia (Salinas, Monteazul, Espinosa), una familia de estaciones entre la región central y sur con una temperatura intermedia (Petronila, Januária, Araçuaí), y tres estaciones independientes con mayores temperaturas en la zona central (Bom Jesus da Lapa) y en la zona costera norte (Cruzeta y Morada Nova).

Una mayor heterogeneidad se detectó trimestralmente, destacando JJA con la menor  $T_{max}$  y mayor variabilidad en la distribución de estaciones (Invierno austral; 29.9 °C; CV = 7.3 %), y SON con la mayor  $T_{max}$  de la región (Primavera austral; 32.8 °C; CV = 5.9 %).

En este sentido, aunque sería esperable los mayores registros de  $T_{max}$  durante el periodo correspondiente al verano austral (DEF, 32.5 °C; CV = 5 %), la pequeña variabilidad en los datos de temperatura por la baja latitud de la región y la baja disponibilidad e irregular distribución de los observatorios, pudieron motivar este resultado.

Así mismo, aunque se generaron conjuntos de estaciones con similar comportamiento trimestral, los grupos estuvieron heterogéneamente distribuidos y presentaron una alta variabilidad. De este modo, en DEF se distinguen un conjunto de observatorios de menor  $T_{max}$  en la región nor-oriental (Surubim y Arcoverde) y sur-occidental (Salinas, Monte Azul, Espinosa y Januária) y dos familias con mayor temperatura ubicadas en las regiones central (Araçuaí, Petrolina y Bom Jesús da Lapa) y nor-occidental (Cruzeta y Morada Nova) del semiárido.

En cambio, durante MAM y SON el número de grupos diferenciados aumenta, si bien las asociaciones presentan alta semejanza y no es posible definir zonas homogéneas a excepción del observatorio Arcoverde, caracterizado por el menor registro de temperatura (Fig. 3). El trimestre JJA presentó la mayor heterogeneidad en la formación de grupos de  $T_{max}$ , al definirse las estaciones en grupos independientes y apenas compartir características unas con otras.

Por último, aunque la  $T_{max}$  trimestral presentó una alta variabilidad, a escala anual fue posible definir una relación entre la altitud a la que se encontraban las estaciones y su  $T_{max}$ , la cual desciende a una tasa de 0.66 °C/100 m (Fig. 4).

Tabla 5.

Valores de temperatura mínima media mensual, trimestral (DEF, MAM, JJA, SON) y anual (medio, máximo y mínimo) en las estaciones del semiárido brasileño en el periodo 1981-2015.

Temperatura mínima (°C)	Araçuaí	Arcoverde	Bom Jesus Lapa	Cruzeta	Espinosa	Januária	Monte Azul	Petrolina	Salinas	Surubim	Media
Ene	20.6	19.8	21.9	23.4	22.7	20.3	22.7	23.3	20.5	20.9	21.6
Feb	20.7	19.6	22.0	23.2	22.9	20.2	23.0	23.4	20.5	21.3	21.7
Mar	20.7	19.7	22.1	23.2	22.9	20.3	22.9	23.5	20.8	21.4	21.7
Apr	19.6	19.4	21.7	22.8	22.1	19.0	22.3	23.1	19.8	21.1	21.1
May	17.2	18.7	20.5	22.3	20.2	16.7	21.1	22.2	18.1	20.3	19.7
Jun	15.8	17.6	19.1	21.3	18.7	14.4	19.7	20.8	16.4	19.3	18.3
Jul	15.3	16.8	18.8	21.0	18.3	13.8	19.5	20.0	16.2	18.6	17.8
Ago	16.1	16.4	19.3	21.0	19.4	15.0	20.1	20.2	16.5	18.2	18.2
Sep	18.5	17.1	20.9	21.7	21.4	18.0	21.4	21.2	18.5	18.8	19.8
Oct	20.6	18.3	22.5	22.7	23.0	20.4	22.9	22.5	20.3	19.7	21.3
Nov	20.7	19.1	22.4	23.2	23.1	20.6	22.8	23.3	20.7	20.4	21.6
Dic	20.7	19.4	22.1	23.6	22.8	20.6	22.7	23.6	20.9	20.8	21.7
DEF	20.8	19.7	22.0	23.5	22.9	20.4	22.6	23.5	20.6	21.1	21.7
MAM	19.2	19.2	21.4	22.8	21.7	18.6	21.9	23.0	19.6	20.9	20.8
JJA	15.7	17.0	19.1	21.2	18.9	14.3	19.9	20.5	16.3	18.7	18.2
SON	19.9	18.2	22.0	22.6	22.7	19.8	22.4	22.4	19.9	19.7	21.0
Año	19.1	18.6	21.2	22.5	21.7	18.4	21.7	22.4	19.0	20.2	20.5
Max año	20.4	19.2	22.1	23.4	22.7	19.4	22.8	23.0	20.1	21.1	
Min año	17.2	18.0	19.9	21.4	20.1	17.1	20.8	21.6	18.5	19.6	
CV año	4.1%	1.6%	2.3%	1.9%	2.9%	2.8%	2.4%	1.8%	1.8%	1.8%	
Max mes	23.2	22.2	24.5	24.5	24.7	23.0	25.4	25.0	22.8	23.0	
Min mes	12.4	15.6	17.2	19.3	15.8	11.9	17.9	18.8	13.8	17.0	
CV mes	11.6%	6.6%	6.4%	4.3%	8.5%	14.3%	6.2%	6.1%	9.8%	5.6%	

(Max: Máximo; Min: Mínimo; CV: Coeficiente de Variación).

Fuente: Los Autores.

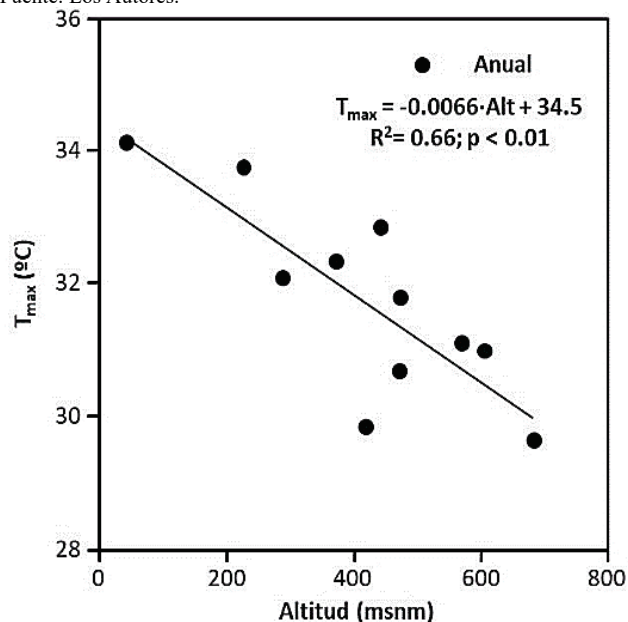


Figura 4. Altitud de estaciones climáticas vs. temperatura máxima media anual para las estaciones del semiárido de Brasil en el periodo 1981-2015. Fuente: Los Autores.

Así, a pesar de la baja disponibilidad y heterogénea distribución de observatorios de  $T_{max}$  del semiárido brasileño, se identificó una alta variabilidad en el comportamiento de la temperatura de esta región, además de una clara correlación entre la  $T_{max}$  de los observatorios y la altitud a la que se encuentran.

### 3.3. Temperatura mínima ( $T_{min}$ )

La  $T_{min}$  media anual de la región fue de 20.4 °C, con una baja variabilidad (CV= 2.3 %), oscilando entre 17.8 °C en julio y 21.7 °C en noviembre. El menor valor de  $T_{min}$  fue de 11.9 °C registrada en la estación sur-occidental de Januária en 1981, mientras que un máximo de 25.4 °C se observó en la estación sur-oriental de Monte Azul (Fig. 5, Tabla 5).

Las estaciones fueron clasificadas según sus temperaturas mínimas medias anuales en una familia de estaciones de baja temperatura en la región sur-occidental y nor-oriental (Januária y Arcoverde), una familia de baja temperatura en la región sur (Salinas y Araçuaí), dos familias de alta temperatura en la región interior sur (Espinosa y Monte Azul) y en la región central y nor-oriental (Petrolina y Cruzeta), así como dos estaciones independientes con temperaturas intermedias en la región central (Bom Jesus da Lapa) y nor-oriental (Surubim).

Grupos con una mayor variabilidad en la temperatura fueron detectados a nivel trimestral, si bien destacar los periodos JJA con menor  $T_{min}$  (18.1 °C; CV= 11.9 %) y DEF con mayor  $T_{min}$  (21.7 °C; CV= 6.5 %) de la región. Los trimestres MAM y SON presentaron comportamientos similares, con temperaturas intermedias a las de JJA-DEF y una similar variabilidad (20.8 °C y 20.9 °C; CV= 7.8 %).

No obstante, a pesar de la mayor variabilidad trimestral

de la  $T_{min}$ , MAM y SON presentaron una mayor homogeneidad al definirse un menor número de grupos de estaciones. De esta manera, mientras en DEF y JJA se discriminaron hasta 8 grupos de estaciones, en MAM y SON se detectan 5 grupos en dos familias: una de baja temperatura en la región noreste y sur (Arcoverde, Januária, Salinas y Araçuaí) y otra de mayor temperatura con las estaciones restantes (Bom Jesus da Lapa, Espinosa, Monte Azul, Petrolina y Cruzeta) que enlaza la zona sur y norte bordeando la zona montañosa Sierra del Espinhaço por el norte y oeste (Fig. 1 y 5).

De este modo, aunque fue posible identificar grupos de estaciones con similares características térmicas y condiciones topográficas, no se detectó una correlación entre ambas variables. Sin embargo, a partir de un análisis estadístico multivariante tipo clúster en el que se incluyó la variabilidad de la  $T_{min}$ , se definieron 3 agrupaciones de estaciones en el semiárido (Tabla 6): en la zona sur de Sierra del Espinhaço dos familias, una de mayor altitud y  $T_{min}$  pero menor variabilidad (Grupo 1) y otra de menor altitud y  $T_{min}$  pero la más alta variabilidad (Grupo 2), mientras en la zona centro norte del Planalto de la Borborema, las estaciones presentaron una altitud y temperatura intermedia a los otros dos grupos y la menor variabilidad (Grupo 3).

Así, aunque los factores geográficos-topográficos son elementos importantes a la hora de explicar el comportamiento de la temperatura [19, 32], otra serie de factores como radiación solar, humedad, velocidad del viento o distancia a la costa [33, 34] pueden ayudar a entender estas variaciones.

Por lo tanto, a pesar de la baja disponibilidad y heterogénea distribución de observatorios de  $T_{min}$  en el semiárido, pudieron definirse tres regiones con diferente comportamiento: dos de más baja temperatura en la zona nororiental y sur, y otra de mayor temperatura que discurre de norte a sur a bordeando la región montañosa central del semiárido. Así mismo, a pesar de la ausencia de relación entre la altitud de los observatorios y su  $T_{min}$ , resulta oportuno seguir investigando la influencia de otros factores que ayude a explicar su comportamiento.

Tabla 6.

Altitud (msnm), temperatura mínima media anual (°C) y coeficiente de variación (CV, %) de las estaciones agrupadas mediante el análisis clúster de la región semiárida de Brasil entre 1981-2015.

Grupo	Estaciones	Estados	Altitud (msnm)	$T_{min}$ media (°C)	CV $T_{min}$ (%)
1	Bom Jesus da Lapa	BA	538.7	21.5	7.0
	Espinosa	MG			
	Monte azul	MG			
2	Araçuaí	MG	412.2	18.8	11.9
	Salinas	MG			
	Januária	MG			
3	Arcoverde	PE	424.9	20.9	5.7
	Cruzeta	RN			
	Petrolina	PE			
	Surubim	PE			

Fuente: Los Autores.

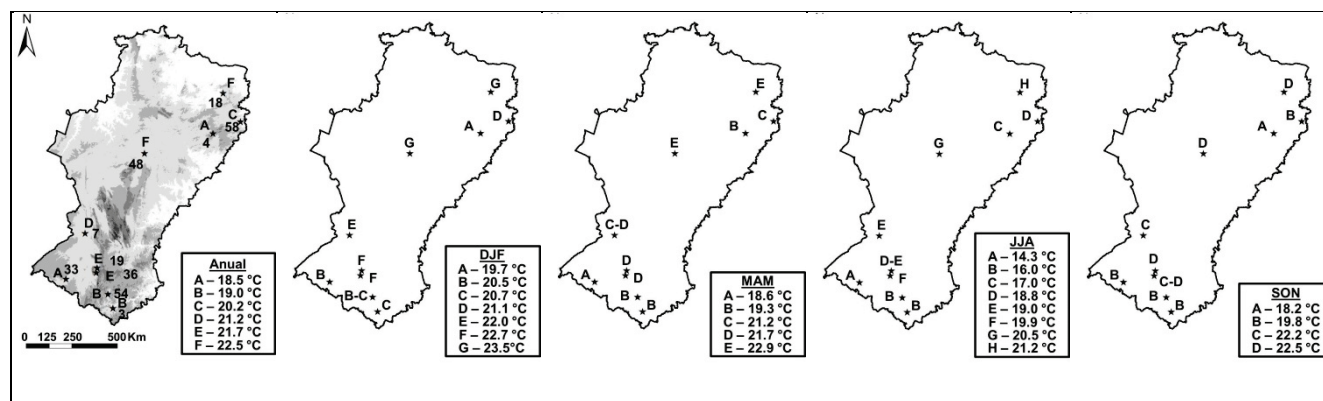


Figura 5. Distribución espacial de temperatura mínima anual y trimestral (DEF, MAM, JJA, SON) y agrupación de estaciones mediante el método de Kruskal-Wallis en el semiárido brasileño entre 1981-2015. Los números hacen referencian al código de la estación climáticas.

Fuente: Los Autores.

#### 4. Conclusiones

A pesar de la falta de registros continuos y la distribución de las estaciones climáticas en la amplia región del semiárido de Brasil, fue posible generar 29 series homogéneas de temperatura y precipitación para la caracterización termo-pluviométrica de la región entre 1981-2015, cubriendo el periodo de 30 años que indica la OMM para estudios de caracterización climática.

La precipitación presentó una alta heterogeneidad espaciotemporal, si bien se identifica en la región una estación húmeda con precipitaciones mayoritariamente entre octubre y abril en la zona sur, mientras que en la zona norte se concentran de enero a junio.

En relación a la temperatura, a pesar de la baja variabilidad en los registros, no se identificaron grupos de estaciones con similar comportamiento al discriminar los análisis estaciones aisladas. Este hecho evidencia el impacto que la amplia extensión de la región tiene en el comportamiento de las temperaturas. Así mientras que para la temperatura máxima se encuentra una tasa de disminución de la misma de 0.66 °C/100m, para la temperatura mínima esta relación no es tan evidente y resulta necesario seguir investigando la influencia de otros factores para definir su comportamiento.

La generación de series homogéneas de temperatura y precipitación fue un paso importante para establecer las características climáticas básicas del semiárido Brasileño, de amplia relevancia considerando la limitada información disponible y su amplia extensión (11 % del país). Estas series ayudarán a establecer nuevas regiones en las que centrar el estudio de la dinámica climática local y su relación con otros indicadores climáticos (índices ENSO, presión atmosférica, etc...), y delimitar zonas en las que invertir mayores esfuerzos para generar información que ayude a una mejor comprensión del clima para el desarrollo de políticas de gestión del uso de recursos naturales.

#### Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo del proyecto PROMETEO de la Secretaría Nacional de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación – SENESCYT, CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e

Tecnológico) por medio de los proyectos 401687/2016-3 y 306783/2018-5 y de la beca 142451/2018-5.

#### Bibliografía

- [1] Santos, C.A.C. Recursos naturais do semiárido: estudos aplicados. Org. Santos, C.A.C., Silva, M.T. e Silva, V.M.A. Campina Grande. Editora EDUEFCG, 2016.
- [2] Marengo, J.A., Alves, L.M., Beserra, E.A. e Lacerda, F.F., Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro. Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas, Instituto Nacional do Semiárido, Campina Grande, Brasil, 2011, pp. 384-422.
- [3] Ramos, R.P.L., Precipitation characteristics in northeast Brazil dry region. Journal of Geophysical Research, 80(12), pp. 1665-1678, 1975. DOI: 10.1029/JC080i012p01665
- [4] Kousky, V.E. and Chu, P.S., Fluctuations in annual rainfall for northeast Brazil. Journal Meteorological Society Japan, 56(5), pp. 457-465, 1978. DOI: 10.2151/jmsj1965.56.5.457
- [5] Moscati, M.C.D.L. and Gan, M.A., Rainfall variability in the rainy season of semi-arid zone of Northeast Brazil (NEB) and its relation to wind regime. International Journal of Climatology, 27(4), pp. 493-512, 2007. DOI: 10.1002/joc.1408
- [6] Oliveira, P.T., Silva, C.M.S. and Lima, K.C., Climatology and trend analysis of extreme precipitation in subregions of Northeast Brazil, Theoretical and Applied Climatology, 130, pp. 77-90, 2016. DOI: 10.1007/s00704-016-1865-z
- [7] Marengo, J.A., Torres, R.R. and Alves, L.M., Drought in Northeast Brazil—past, present, and future. Theoretical and Applied Climatology, 129, pp. 1189-1200, 2017. DOI: 10.1007/s00704-016-1840-8
- [8] NAE - Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República. Mudança de clima, v.1: Negociações internacionais sobre a mudança de clima: vulnerabilidade, impactos e adaptação à mudança de clima. Secretaria de Comunicação de Governo e Gestão Estratégica, Brasília, Brasil, 2005.
- [9] Ribot, J.C., Magalhães, A.R. and Panagides, S. (Eds.), Climate variability, climate change and social vulnerability in the semi-arid tropics. Cambridge University Press, Cambridge, U.K., 2005. DOI: 10.1017/CBO9780511608308
- [10] Santos, C.A., Galvão, C.O., Neto, R.M.B. and Meneses, I.D.A., Variability of rainfall in the semi-arid region of Brazil. HIC 2018. 13<sup>th</sup> International Conference on Hydroinformatics, vol 3, 2018, pp. 1868-1875. DOI: 10.29007/sm9
- [11] Hartmann, D.L., Global physical climatology, Vol. 103, Newnes, 2015.
- [12] Hidore, J.J. and Oliver, J.E., Climatology: an atmospheric science. MacMillan, New York, USA, 1993.
- [13] Yue, S., Pilon, P. and Cavadias, G., Power of the Mann-Kendall and Spearman's rho tests for detecting monotonic trends in hydrological series. Journal of Hydrology, 259(1), pp. 254-271, 2002. DOI: 10.1016/S0022-1694(01)00594-7



- [14] García-Garizábal, I., Romero, P., Jimenez, S. and Jordá, L., Climate change effects on the climate dynamics of coastal Ecuador, *DYNA*, 84(203), pp. 37-44, 2017. DOI: 10.15446/dyna.v84n203.59600
- [15] IPCC. Climate Change 2014: Synthesis report. Contribution of working groups I, II and III to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Core Writing Team, Pachauri, R.K. and Meyer, L.A. (eds.), IPCC, Geneva, Switzerland, [online]. 2014, 151 P. [consulted, March 1<sup>st</sup> of 2020] Available at: [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/SYR\\_AR5\\_FINAL\\_full\\_wcover.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/SYR_AR5_FINAL_full_wcover.pdf)
- [16] WMO. The role of climatological normals in a changing climate. World Meteorological Organization: Geneva, Switzerland, [online]. 2007. Available at: [https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice\\_display&id=16659#.X4LMYO1S-Uk](https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=16659#.X4LMYO1S-Uk)
- [17] Beck, H.E., Zimmermann, N.E., McVicar, T.R., Vergopolan, N., Berg, A. and Wood, E.F., Publisher correction: Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution. *Scientific Data*, 7, Art.#274, 2020. DOI: 10.1038/sdata.2018.214
- [18] Ceballos, A., Morán, E. y López-Moreno, J.I., Análisis de la variabilidad espaciotemporal de las precipitaciones en el sector español de la Cuenca del Duero (1961-2005). *Boletín Asociación Geógrafos Españoles*, 61, pp. 235-259, 2013. DOI: 10.21138/bage.1543
- [19] El-Kenawy, A.M., López-Moreno, J.I., Stepanek, P. and Vicente-Serrano, S.M., An assessment of the role of homogenization protocol in the performance of daily temperature series and trends: application to northeastern Spain. *International Journal of Climatology*, 33, pp. 87-108, 2013. DOI: 10.1002/joc.3410
- [20] García-Garizábal, I. and Romero, P., Homogeneous temperature series for thermal characterization and detection of trends in the Province of Santa Elena, Ecuador. *International Journal of Climatology*, 36(8), pp. 3129-3138, 2016. DOI: 10.1002/joc.4541
- [21] García-Garizábal, I., Rainfall variability and trend analysis in coastal arid Ecuador. *International Journal of Climatology*, 37(13), pp 4620-4630, 2017. DOI: 10.1002/joc.5110
- [22] Peterson, T.C. and Easterling, D.R., Creation of homogeneous composite climatological reference series. *International Journal of Climatology* 14(6), pp. 671-679, 1994. DOI: 10.1002/joc.3370140606
- [23] Dalrymple, T., Flood frequency analyses water supply. Paper No. 1543-A. US Geological Survey, Reston, VA, Virginia, USA, [online]. 1960. Available at: <https://pubs.er.usgs.gov/publication/wsp1543A>
- [24] Gaál, L., Kysely, J. and Szolgay, J., Region-of-influence approach to a frequency analysis of heavy precipitation in Slovakia. *Hydrology and Earth System Sciences*, 12, pp. 825-839, 2008. DOI: 10.5194/hess-12-825-2008.
- [25] Gaál, L., Szolgay, J., Lapin, M. and Faško, P., Hybrid approach to delineation of homogeneous regions for regional precipitation frequency analysis. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 57, pp. 226-249, 2009. DOI: 10.2478/v10098-009-0021-1
- [26] Wang, X.L. and Feng, Y., RHtestsV4 user manual. Climate Research Division, Atmospheric Science and Technology Directorate, Science and Technology Branch, Environment, Canada, [online]. 2013. Available at: [http://etcccdi.pacificclimate.org/RHtest/RHtestsV4\\_UserManual\\_10Dec2014.pdf](http://etcccdi.pacificclimate.org/RHtest/RHtestsV4_UserManual_10Dec2014.pdf)
- [27] Wang, X.L., Accounting for autocorrelation in detecting mean-shifts in climate data series using the penalized maximal t or F test. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 47(9), pp. 2423-2444, 2008. DOI: 10.1175/2008JAMC1741.1
- [28] Wang, X.L., Penalized maximal F-test for detecting undocumented mean-shifts without trend-change. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 25(3), pp. 368-384, 2008. DOI: 10.1175/2007/JTECHA982.1.
- [29] Kruskal, W.H. and Wallis, W.A., Use of ranks in one-criterion variance analysis. *Journal of the American Statistical Association*, 47(260), pp. 583-621, 1952.
- [30] Hair, J., Anderson, R., Tatham, R. and Black, W., Análisis multivariante, 5<sup>th</sup> ed., Prentice Hall Iberia, Madrid, Spain, 1999, 832 P.
- [31] Alves, J.M.B. and Repelli, C.A., Variabilidade pluviométrica no setor norte do nordeste e os eventos El Nino-Oscilacao Sul. *Revista Brasileira de Meteorologia*. 7(2), pp. 583-592, 1992.
- [32] Vicente-Serrano, S.M. and Cuadrat-Prats, J.M., Trends in drought intensity and variability in the middle Ebro Valley (NE of the Iberian Peninsula) during the second half of the twentieth century. *Theoretical and Applied Climatology*, 88, pp. 247-258, 2007. DOI: 10.1007/s00704-006-0236-6
- [33] Apaydin, H., Anli, AS. and Ozturk, F., Evaluation of topographical and geographical effects on some climatic parameters in the Central Anatolia Region of Turkey. *International Journal of Climatology*, 31(9), pp. 1264-1279, 2011. DOI: 10.1002/joc.2154
- [34] Feidas, H., Karagiannidis, A., Keppas, S., Vaitis, M., Kontos, T., Zanis, P., Melas, D. and Anadranistakis, E., Modeling and mapping temperature and precipitation climate data in Greece using topographical and geographical parameters. *Theoretical and Applied Climatology*, 118(1-2), pp. 133-146, 2014. DOI: 10.1007/s00704-013-1052-4

**I. García-Garizábal**, es Lic. en Geología (2005) y Dr. en Geología (2010) ambos de la Universidad de Zaragoza, España. Ha trabajado en evaluación de estudios de gestión de recursos hídricos y cambio climático prestando sus servicios en el Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (España), Instituto Geológico y Minero de España (IGME), Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra de la Escuela Superior Politécnica del Litoral (Ecuador), Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA, España) y como profesional libre. Actualmente es técnico superior Tecnologías y Servicios Agrarios (TRAGSATEC, España). ORCID: 0000-0001-9341-0911

**R. Abrahão**, es Ing. Agrícola (2004) MSc. en Desarrollo y Medio Ambiente (2006), ambos de la Universidade Federal da Paraíba - UFPB, Brasil y Dr. en Ingeniería Química y Ambiental (2011) de la Universidad de Zaragoza, España. Ha trabajado como investigador en el Ontario Centre for Climate Impacts and Adaptation (OCCCIAR) en Canadá y actualmente es Profesor del Departamento de Ingeniería de Energías Renovables de la Universidade Federal da Paraíba. ORCID: 0000-0002-2945-2604

**S. Eterna**, es Física Computacional (2008) de la Universidade de Brasília, con MSc. en Energías Renovables (2018) de la Universidade Federal da Paraíba, Brasil. Actualmente es doctoranda en Física por la Universidade Federal da Paraíba, Brasil. ORCID: 0000-0002-8776-9343