

# Análisis regional de zonas homogéneas de precipitación en Carabobo, Venezuela<sup>1</sup>

Barlin Orlando Olivares<sup>2</sup>, Rafael Ángel Hernández<sup>3</sup>

## Resumen

**Introducción.** La utilidad primordial de los datos sobre el clima para planificar el desarrollo sostenible en áreas agrícolas y hacer frente a todas las consecuencias del cambio climático ya ha quedado firmemente establecida en diferentes programas y políticas a nivel mundial. **Objetivo.** Analizar la variabilidad espacio temporal de la precipitación e identificar las zonas homogéneas a partir de datos mensuales y anuales (1969-1999) provenientes de las estaciones climatológicas en Carabobo, Venezuela. **Materiales y métodos.** Para definir subgrupos de estaciones pluviométricas que caractericen zonas homogéneas se aplicaron técnicas multivariadas (análisis de componentes principales y análisis de conglomerados) basadas en la similitud del comportamiento de las series de datos de lluvia anual precipitada. Finalmente se elaboró el mapa de distribución espacial de la precipitación mediante la interpolación kriging. **Resultados.** Se lograron identificar cuatro grupos de estaciones con

comportamiento similar en lo que se refiere a los procesos pluviométricos. Esta investigación permitió conocer el comportamiento espacial y temporal de la precipitación, caracterizada por la marcada estacionalidad producto de la influencia directa de la Zona de Convergencia Intertropical. La tendencia mostró un patrón de distribución espacial con una gradación que va de menor a mayor en sentido noreste a sureste. **Conclusiones.** Este estudio permitió estimar la regularidad espacial del comportamiento de la lluvia y del grado de heterogeneidad de este elemento climático año tras año, que a su vez representa el inicio de la planificación estratégica a nivel regional.

**Palabras clave:** climatología, déficit hídrico, estadística multivariada, lluvia

1 Artículo original derivado del proyecto de investigación *Calendario de siembras en territorios agrícolas de Carabobo*, Venezuela, del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, ejecutado entre enero de 2016 y junio de 2017; Grupo de investigación de meteorología aplicada; financiado por la Secretaría de Seguridad Alimentaria y Desarrollo Agrario de la Gobernación del estado Carabobo, Venezuela.

2 Doctor (c) en Agroalimentación en la Universidad de Córdoba, España, máster en Gestión Ambiental de la Universidad Internacional de Andalucía, España, ingeniero agrónomo de la Universidad Central de Venezuela. Correo: barlinolivares@gmail.com ORCID: 0000-0003-2651-570X

3 Magíster en Gestión Ambiental de la UNEFA, licenciado en Geografía de la Universidad Central de Venezuela, coordinador de Meteorología aplicada del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, Venezuela. Correo: r.hernandez@inameh.gob.ve ORCID: 0000-0003-4408-7411

**Autor para correspondencia:** Barlin Orlando Olivares: barlinolivares@gmail.com

Recibido: 10-06-2019 Aceptado: 07-02-2020

## Regional analysis of homogeneous precipitation areas in Carabobo, Venezuela

### Abstract

**Introduction:** The primary utility of climate data for planning sustainable development in agricultural areas and addressing all the consequences of climate change has already been firmly established in different programs and policies worldwide. **Objective:** Analyze the temporal space variability of precipitation and identify homogeneous areas based on monthly and annual data from weather stations in Carabobo, Venezuela, during the period 1969-1999. **Materials and methods:** To define subgroups of rainfall stations that characterize homogeneous zones, multivariate techniques (principal component analysis and cluster analysis) were applied based on the similarity of the behavior of the data series of precipitated annual rainfall. Finally, the spatial distribution map of the precipitation was prepared by means of kriging interpolation. **Results:** It was possible to identify four groups of stations with similar behavior in terms of rainfall processes. This investigation allowed to know the spatial and temporal behavior of precipitation, characterized by the marked seasonality resulting from the direct influence of the Intertropical Convergence Zone. The trend showed a pattern of spatial distribution with a gradation that goes from minor to major in the northeast to southeast direction. **Conclusion:** In addition, this study allowed estimating the spatial regularity of rainfall behavior and the degree of heterogeneity of this climatic element year after year, which in turn represents the beginning of strategic planning at the regional level.

**Keywords:** Climatology, water deficit, multivariate statistics, rain

## Análise regional de áreas de precipitação homogênea em Carabobo, Venezuela

### Resumo

**Introdução.** A utilidade primordial dos dados climáticos para planejar o desenvolvimento sustentável em áreas agrícolas e abordar todas as consequências da alteração climática já ficou firmemente estabelecida nos diferentes programas e políticas ao nível mundial. **Objetivo.** Analisar a variabilidade do espaço temporal da precipitação e identificar as zonas homogêneas a partir de dados mensais e anuais (1969-1999) provenientes das estações climatológicas em Carabobo, Venezuela. **Materiais e métodos.** Para definir subgrupos de estações pluviométricas que possam caracterizar as zonas homogêneas aplicaram-se técnicas multivariadas (análise de componentes principais e análise de conglomerados) baseadas na similitude do comportamento das séries de dados de chuva anual precipitada. Finalmente elaborou-se o mapa de distribuição espacial da precipitação mediante a interpolação kriging. **Resultados.** Conseguiu-se identificar quatro grupos de estações com comportamento similar no que se refere aos processos pluviométricos. Esta pesquisa permitiu conhecer o comportamento espacial e temporal da precipitação, caracterizada pela marcada sazonalidade, produto da influência direta da Zona de Convergência Intertropical. A tendência mostrou um padrão de distribuição espacial com uma gradação que vai de menor à maior no sentido nordeste à sudeste. **Conclusões.** Este estudo permitiu estimar a regularidade espacial do comportamento da chuva e do grau da heterogeneidade deste elemento climático ano após ano, que ao mesmo tempo representa o início do planejamento estratégico ao nível regional.

**Palavras chave:** climatologia, déficit hídrico, estatística multivariada, chuva

## Introducción

La precipitación y la seguridad alimentaria están estrechamente relacionadas, según el Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales (MARN, 2005), alrededor de 800 millones de personas en el mundo padecen de hambre y la mayoría de ellos viven en regiones deficitarias de agua. Esta cifra resalta la importancia de la agricultura en el desafío de lograr que el agua disponible en la tierra cubra las necesidades de un número de usuarios creciente, conociendo que el agua de lluvia produce más alimentos que el agua de riego.

De acuerdo con la *Primera Comunicación Nacional de Venezuela en Cambio Climático*, (MARN, 2005) se espera que los valores de precipitación y el número de meses húmedos de varias zonas del país disminuyan y que se incremente la ocurrencia de eventos extremos. Sin duda, todo lo anterior tiene un impacto directo en la agricultura vegetal y animal, considerando en una primera aproximación que ocurran daños directos en ciertos cultivos, se incrementa el estrés calórico que afecta la agricultura animal y exista una reducción de los rendimientos de los cultivos (MARN, 2005; Ovalles et al., 2005, 2008; Rodríguez et al., 2013).

Particularmente, en la Región Central de Venezuela, la situación climática para la agricultura varía de una época a otra. Existe una época seca en la cual se presenta un déficit hídrico, constituido como una disminución temporal en la disponibilidad de agua o humedad, que repercute significativamente en los cultivos (Lobo et al., 2010; Cortez et al., 2011; Olivares et al., 2012; 2013a; Paredes-Trejo et al. 2015; Cortez et al., 2016 y Olivares et al., 2017b). Por otra parte, en la época lluviosa, se generan las condiciones óptimas para el adecuado crecimiento y desarrollo de los cultivos, así como la oportunidad de realizar las labores agrícolas en campo.

En condiciones tropicales, las fechas de siembra de los cultivos varían conforme a las zonas donde se localizan. Resulta importante comprender que tales fechas no son establecidas de manera aleatoria, sino que se fundamentan y dependen de diversos factores climáticos, entre ellos la precipitación, que facilita el desarrollo del cultivo, optimiza su rendimiento y previene la aparición de plagas, enfermedades o malezas (Hernández et al, 2017).

En Carabobo, el incremento de la cantidad de precipitación y la variabilidad han generado cambios en la actividad agrícola de secano, provocando alteraciones en los rendimientos de los principales cultivos de la zona, es por ello que la evaluación o caracterización de este elemento climático servirá de herramienta para la toma de decisiones y planificación estratégica en las áreas agrícolas del estado.

Este estudio de la precipitación proporciona datos básicos, información y técnicas que permiten determinar climas locales, si bien estas son prestaciones elementales, también constituyen el punto de partida para efectuar análisis más profundos y ofrecer una base sólida cuando se conjugan y analizan con otros datos sociales, económicos y físicos.

Por las consideraciones expuestas y con la finalidad de confrontar la variabilidad natural de la lluvia en el estado Carabobo de Venezuela, surge la necesidad de analizar la variabilidad espacio temporal de la precipitación, obteniendo resultados que coadyuvarán a la identificación de las zonas homogéneas de lluvia dentro del estado, sirviendo de base para el diseño de estrategias orientadas al manejo integral del recurso hídrico y que contribuyan a reducir el riesgo para la seguridad agroalimentaria del país.

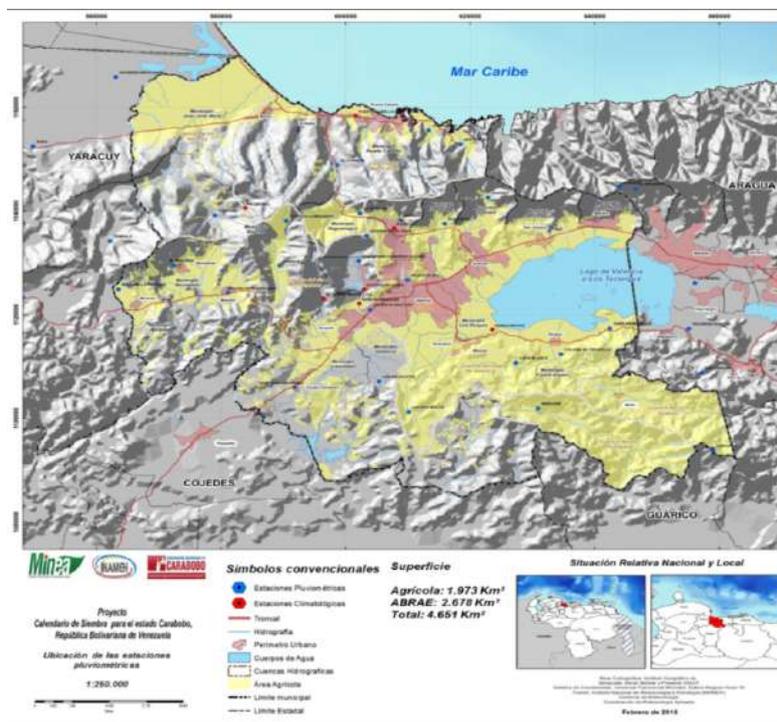
## Materiales y métodos

Para el estudio de los patrones de precipitación en el estado Carabobo se utilizaron los datos mensuales de 25 estaciones meteorológicas, obtenidos del Banco de Datos de la Gerencia de Procesamiento y Calidad de Datos del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH), clasificadas de acuerdo a sus tipos en 31 estaciones Convencionales Pluviométricas (CP), es decir, sólo registran datos de precipitación y el resto son Convencionales Climatológicas (CC) que además de registrar datos de precipitación, registran el resto de los elementos climáticos como temperatura del aire, humedad relativa, viento, radiación global, insolación y evaporación (Figura 1).

Se realizó un control de calidad a los datos de precipitación mensual para definir la proporción de datos faltantes, identificar valores fuera de lo normal y observar el entendimiento básico de la distribución de las series (Parra y Cortez, 2005;

Ablan et al., 2008 y Olivares et al., 2013b); utilizando los programas JMP v.6 (Jones y Sall, 2011), InfoStat v.11 (Di Rienzo et al., 2011).

Estas estaciones se seleccionaron por poseer un período común de 30 años de registro histórico que va desde 1969 hasta 1999; este lapso incluye el mayor número de estaciones con registros completos del estado Carabobo, constituye un período común homogéneo para los estudios de calendarios de siembras que se realizan por estados y se ajusta al requerimiento de longitud de registro histórico sugerido por la Organización Meteorológica Mundial (OMM, 2011). Los datos englobados se calcularon con las fórmulas de desenglobe mensual con el apoyo de una estación vecina de similares condiciones climáticas y los faltantes se estimaron a través del Método Estadístico de Regresión considerando la pendiente de la recta (b), el intercepto (a) y el coeficiente de correlación considerando las fórmulas para relaciones lineales sugeridas por Guevara (2003).



**Figura 1.** Ubicación de las estaciones climáticas en el estado Carabobo y sus alrededores

**Fuente:** elaboración propia

Para identificar las zonas homogéneas de precipitación, se aplicaron criterios y técnicas estadísticas de análisis sobre la variable lluvia media anual (la cual se adopta a priori como representativa de los procesos que se estudian en este trabajo debido a su mayor disponibilidad espacial y temporal) de las 25 estaciones en la región de estudio.

Para esto se construyeron series de lluvia media anual para cada estación y se realizó un análisis de componentes principales (ACP). Esta técnica permitió explorar las relaciones existentes entre las observaciones multidimensionales mediante ordenaciones de estas sobre planos que son óptimos para ordenar las observaciones y analizar interdependencias (Olivares et al., 2017a; 2012).

En esencia, en el ACP se extraen sucesivos componentes desde una matriz de similitudes (o distancias) entre las observaciones calculadas a partir de múltiples variables. Esos componentes son usados como ejes para la representación gráfica de los objetos. En la ordenación, cada unidad de estudio se ubica sobre uno o más ejes, tal que su posición relativa refleja las similitudes y/o distancias entre ellos (Córdoba et al., 2013; Xia et al., 2009; Chong & Xia, 2018). En el presente trabajo, el ACP se realizó sobre una matriz de  $25 \times 31$ , correspondiente a las 15 estaciones pluviométricas (observaciones) y a los 31 valores de lluvias anuales en el periodo de estudio (variables). La ordenación de las estaciones pluviométricas resultante del ACP se analizó mediante un gráfico de dispersión.

Además, para identificar grupos de estaciones, se realizó un análisis de conglomerados utilizando como variables los 30 valores de lluvias anuales durante el periodo de estudio. Esta técnica permitió asociar las observaciones de un conjunto en un número determinado de grupos, basada en el concepto de distancia o similitud entre las observaciones.

En este trabajo se utilizó la distancia euclídea ( $d$ ) debido a que es un método sencillo y recomendable para los casos en los que las variables estén medidas en las mismas unidades y sean homogéneas. Se utilizó el método de encadenamiento promedio (Olivares et al., 2017a), ya que es uno de los métodos más simples y que ha presentado resultados eficaces en numerosos casos en los que se ha aplicado.

Dada la importancia de tener una información generada en un punto geográfico preciso, se utilizó el Sistema de Información Geográfica (SIG) Arcview v.3.2. ESRI (1996), en el cual se incorporó la información de longitud, latitud y altitud de cada una de las estaciones meteorológicas, así como la información general que las identifica; es decir, nombre, estado, código y tipo de estación. Con respecto a la cartografía, tanto la información base como el producto final (mapa de precipitación media anual) se generaron a escala 1:250.000, así se ubicaron las 25 estaciones meteorológicas mediante la incorporación de sus coordenadas en Proyección Universal Transversal Mercator (UTM), usando el datum oficial para Venezuela, Sistema de Referencia Geocéntrico para América del Sur (SIRGAS), del cual forma parte la Red Geodésica Venezolana (REGVEN) según la Gaceta Oficial N° 36.653 de fecha 03/03/1999, Huso 19.

Se estableció el modelo de variación por medio de geoestadística (Webster & Oliver, 1990), lo que permitió definir la estructura espacial de la precipitación y su estimación en sitios donde no existían estaciones climáticas mediante la interpolación kriging. Para el mapeo se realizó una interpolación mediante la técnica del kriging puntual. Los estimados fueron calculados usando los parámetros de los semivariogramas ajustados mediante la ecuación 1.

$$\check{Z}(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde  $n$  es el número de muestras vecinas a  $Z(x_0)$ ;  $\lambda$  es el peso de ponderación aplicado a cada  $Z(x_1)$ ;  $\hat{Z}(x_0)$  es el estimado de  $Z$  en  $x_0$  y  $Z(x_i)$  es la muestra vecina a  $x_0$ .

## Resultados

La Figura 2 muestra el ordenamiento de las estaciones pluviométricas de Carabobo en el plano definido por las dos primeras componentes principales obtenidas del

ACP realizado sobre los datos de lluvia anual entre 1969 y 1999. Los distintos colores corresponden a estaciones ubicadas en distintas provincias. Los dos primeros ejes obtenidos mediante el análisis de componentes principales explican un 69,3% de la variabilidad observada entre estaciones respecto a las medias pluviométricas anuales, siendo el primer eje (CP1) el más importante para visualizar variabilidad entre observaciones, ya que explica un 62,0% de la variabilidad total.

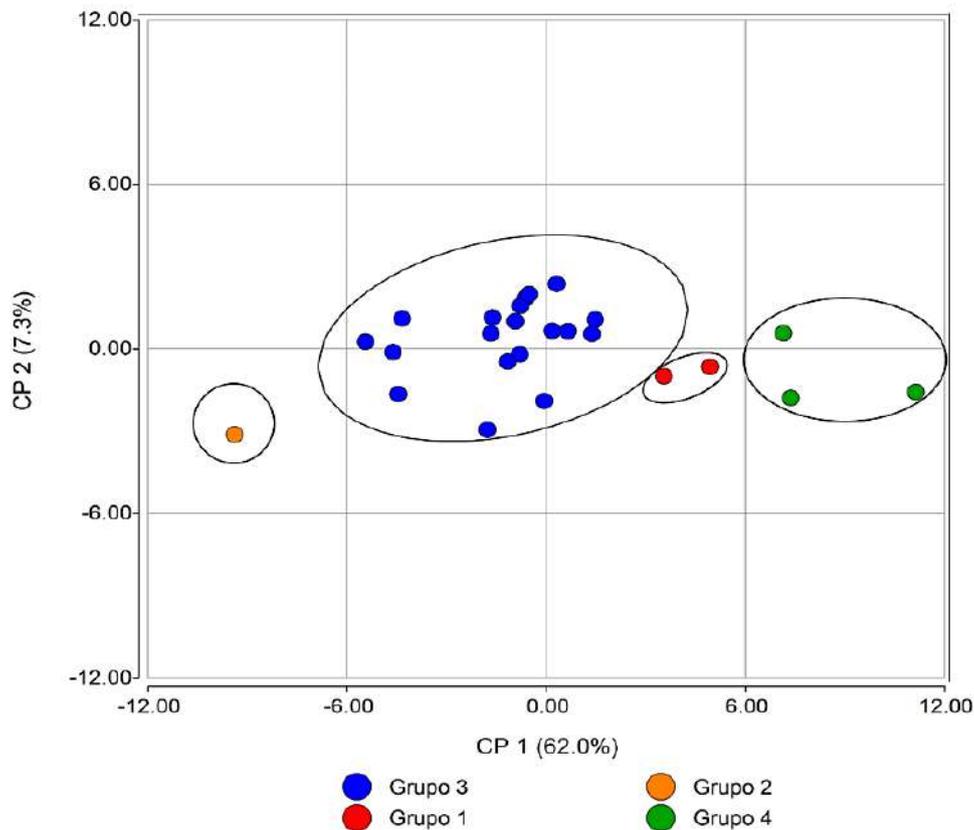
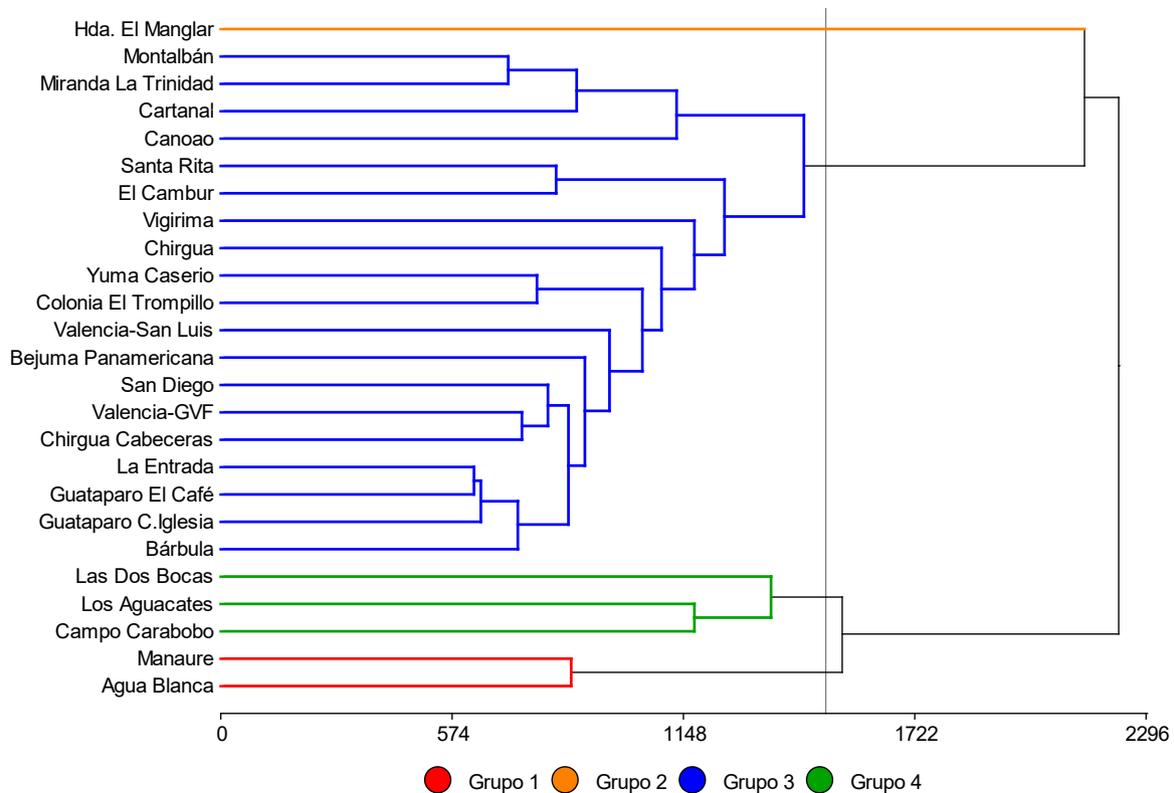


Figura 2. Grupos de estaciones pluviométricas de Carabobo en el plano definido por las dos primeras componentes principales obtenidas del ACP realizado sobre los datos de lluvia anual entre 1969 y 1999

Fuente: elaboración propia

El análisis de conglomerados identificó los siguientes cuatro grupos (Figura 3): el grupo 1 está conformado por las estaciones de Manaure y Agua Blanca; el grupo 2 constituido por la hacienda El Manglar, el grupo 3 por 19 estaciones y el grupo 4 conformado por las estaciones Las Dos Bocas, Los Aguacates y Campo Carabobo.

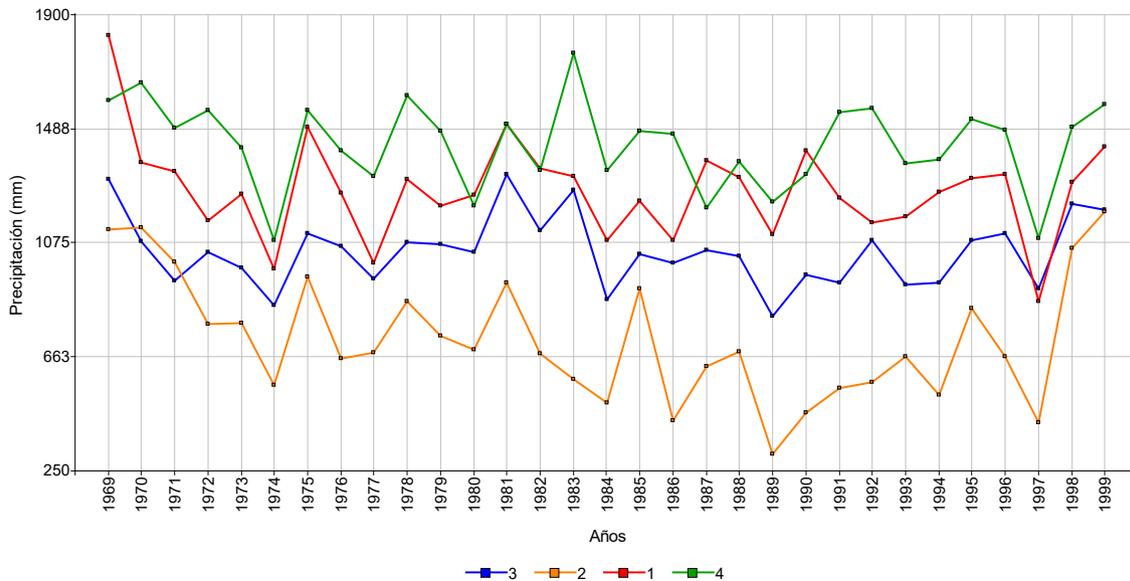


**Figura 3.** Dendrograma obtenido mediante el análisis de conglomerados (distancia euclídea y encadenamiento promedio) realizado sobre los datos de lluvia anual entre los años 1969 y 1999 de las 25 estaciones analizadas. La línea gris vertical indica la distancia a la cual se separan los cuatro grupos obtenidos.

Las estaciones que conforman el grupo 2 presentan los menores valores de precipitación a lo largo de período estudiado

**Fuente:** elaboración propia

En la Figura 4 se observa que efectivamente hay diferencias entre grupos, el grupo 4 presenta en general condiciones de mayor humedad, especialmente en los últimos años (período 1978-1983). Además, en el último período a partir de 1997 se observa una disminución de la lluvia en todos los grupos. Así mismo, se puede apreciar que efectivamente los grupos 1 y 4 tienen un comportamiento más similar entre ellos, aunque igualmente se aprecian diferencias, ya que, por ejemplo, el grupo 1 presenta menores precipitaciones en general.



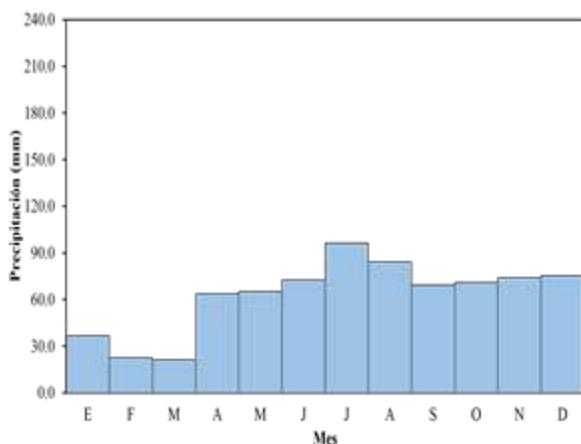
**Figura 4.** Gráfico de perfiles multivariados de la precipitación media anual en los cuatro grupos de estaciones definidas

oscilando entre 150 y 190 mm, mientras que los mínimos ocurren durante la temporada seca, entre enero y febrero con valores entre 0 y 8 mm.

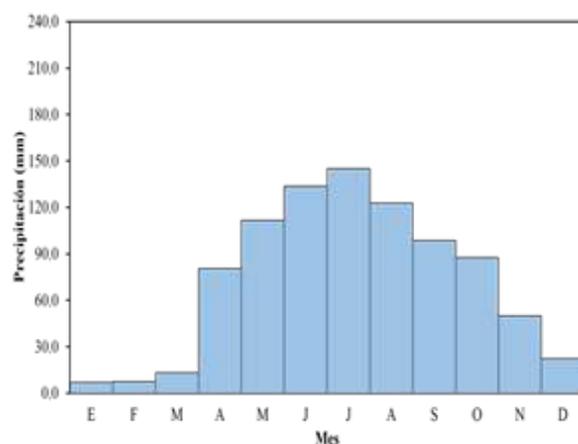
**Fuente:** elaboración propia.

El régimen de precipitación es unimodal en la mayor parte de la entidad (Figura 5), con excepción del municipio Bejuma en la localidad Canoabo que presenta un régimen bimodal. Posee una temporada lluviosa que va de mayo a octubre y una temporada seca de noviembre a abril. Los máximos valores mensuales se presentan entre los meses de julio y agosto,

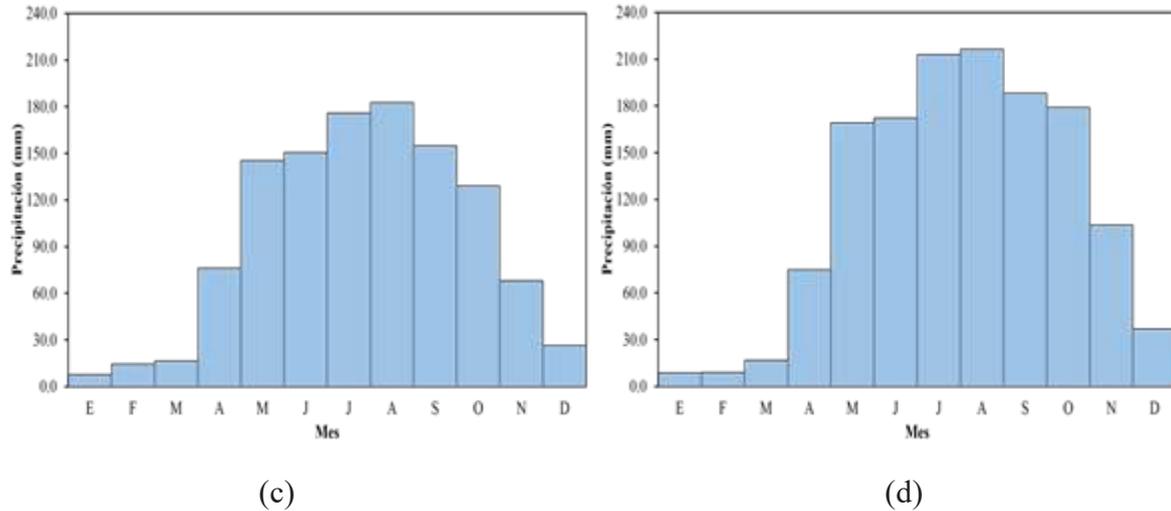
Para el caso de las estaciones ubicadas en el estado Carabobo, la variabilidad interanual entre el periodo 1969-1999, la lámina total anual fue muy variable, siendo el año 1969 uno de los más lluviosos para la serie con 1422,0 mm; y el año 1989 resulto ser el más seco con 862,8 mm. Cabe señalar que el 38,7% de los años evaluados resultaron por debajo del promedio anual de precipitación para el estado (1096,1 mm).



(a)



(b)



**Figura 5.** Precipitación media mensual en Carabobo: (a) El Manglar; (b) Montalbán; (c) Guataparó y (d) Los Aguacates.

**Fuente:** elaboración propia.

El análisis exploratorio de los datos se presenta en la Tabla 1, en este sentido, al estudiar los valores de asimetría y curtosis se evidenció que la precipitación promedio anual tuvo una distribución ligeramente asimétrica positiva en la mayoría de las estaciones pluviométricas,

debido a la presencia de valores extremos superiores a la media y un coeficiente de apuntalamiento o curtosis que indicaron una distribución más elevada que la normal, coincidiendo con lo reportado por Olivares et al. (2013b), Paredes et al. (2014) y Cortez et al. (2016).

**Tabla 1.** Parámetros estadísticos de la precipitación promedio anual (1969-1999) para las estaciones pluviométricas del estado Carabobo, Venezuela.

n	Estación	Media	D.E	CV	Asimetría	Curtosis	P75	P50	P25
1	El Cambur	1092,9	205,1	18,8	0,5	-0,6	1218,4	1071,3	939,8
2	La Entrada	1101,5	188,1	17,1	0,6	-0,1	1205,2	1057,9	987,9
3	Hacienda El Manglar	752,7	303,5	40,3	1,9	6,1	885,4	679,1	566,3
4	Vigirima	1073,7	196,9	18,3	0,6	0,5	1165,2	1076,9	956,8
5	Santa Rita	1014,6	258,2	25,4	-0,2	0,2	1197,1	977,1	855,5
6	San Diego	1067,4	149,0	14,0	0,1	0,2	1158,6	1054,8	994,5
7	Valencia GFV	1063,5	163,1	15,3	0,6	0,3	1139,4	1060,2	959,9
8	Yuma Caserío	1052,4	201,7	19,2	0,2	1,4	1160,1	1062,2	931,0
9	Colonia El Trompillo	1063,2	149,6	14,1	0,5	1,0	1132,6	1066,4	989,6
10	Agua Blanca	1291,7	187,7	14,5	0,1	1,8	1372,6	1302,0	1183,1
11	Las Dos Bocas	1536,2	205,0	13,3	-0,2	-0,8	1697,9	1510,5	1447,9
12	Bárbula	1103,9	190,0	17,2	0,7	-0,4	1227,5	1083,3	939,3
13	Guataparó El Café	1120,9	174,7	15,6	0,7	1,2	1192,9	1110,8	1029,4
14	Chirgua Cabecera	1033,2	150,3	14,5	0,4	-0,2	1115,7	1028,6	931,0
15	Guataparó C. Iglesia	1148,3	175,1	15,2	0,4	-0,2	1278,8	1146,4	1022,8
16	Montalbán	879,6	138,5	15,7	0,1	-0,9	974,7	869,0	785,3

n	Estación	Media	D.E	CV	Asimetría	Curtosis	P75	P50	P25
17	Chirgua	1032,2	194,4	18,8	0,1	-0,3	1156,3	1044,7	907,1
18	Bejuma Panamericana	1060,1	189,9	17,9	0,5	-0,5	1209,7	1030,9	943,8
19	Canoabo	918,2	211,2	23,0	0,2	0,0	1041,7	937,4	773,4
20	Miranda La Trinidad	920,8	128,4	13,9	0,4	-0,4	1001,5	881,5	837,2
21	Valencia San Luis	1152,9	201,9	17,5	0,0	1,2	1290,9	1155,1	1009,1
22	Los Aguacates	1382,8	225,5	16,3	-0,4	-0,4	1518,8	1426,4	1231,5
23	Campo Carabobo	1376,1	153,6	11,2	0,0	0,1	1463,4	1374,4	1289,9
24	Manaure	1238,1	199,7	16,1	0,6	1,5	1359,9	1243,3	1101,4
25	Cartanal	912,1	160,5	17,6	1,8	6,7	1000,0	874,1	816,1

D.E.= desviación estándar; CV= coeficiente de variación; P75= 3er cuartil; P50= mediana.; P25 = 1er cuartil

Fuente: elaboración propia.

La Tabla 2 y la Figura 6 muestran la descripción geográfica de las estaciones ubicadas en Carabobo, la precipitación anual está representada por valores mínimos al norte del estado, hacia el área de la Costa entre 700 y 900 mm, donde se ubican los centros poblados de Morón, El Palito y Puerto Cabello. Sobre las elevaciones de la Cordillera de la Costa, la precipitación aumenta a valores mayores de 1200 mm al año; producto del ascenso de las masas de aire transportadas por los alisios, las cuales se saturan al elevarse en las montañas y se precipitan luego.

**Tabla 2.** Descripción geográfica de las estaciones pluviométricas en Carabobo, Venezuela.

n	Localidad	Municipio	Cuenca	Paisaje	Rango de lluvia anual (mm)
1	El Cambur	Puerto Cabello	Mar Caribe	Montaña	1000-1100
2	La Entrada	Naguanagua	Mar Caribe	Montaña	1100-1200
3	Hacienda El Manglar	Puerto Cabello	Mar Caribe	Montaña	700-800
4	Vigirima	Guacara	Lago de Valencia	Montaña	1000-1100
5	Santa Rita	Puerto Cabello	Mar Caribe	Montaña	900-1000
6	San Diego	San Diego	Lago de Valencia	Valle	1000-1100
7	Valencia GFV	Valencia	Lago de Valencia	Valle	1100-1200
8	Yuma Caserío	Carlos Arvelo	Lago de Valencia	Colinar	1000-1100
9	Colonia El Trompillo	Carlos Arvelo	Lago de Valencia	Colinar	1000-1100
10	Agua Blanca	Carlos Arvelo	Lago de Valencia	Colinar	1200-1300
11	Las Dos Bocas	Valencia	Lago de Valencia	Montaña	1500-1600
12	Bárbula	Naguanagua	Lago de Valencia	Montaña	1100-1200
13	Guataparo El Café.	Naguanagua	Río Portuguesa	Montaña	1100-1200
14	Chirgua Cab.	Bejuma	Río Portuguesa	Valle	1000-1100
15	Guataparo C. Inglesa	Valencia	Río Portuguesa	Valle	1100-1200
16	Montalbán	Montalbán	Río Portuguesa	Valle	900-1000
17	Chirgua	Bejuma	Río Portuguesa	Valle	1000-1100
18	Bejuma P.	Bejuma	Río Portuguesa	Valle	1000-1100

n	Localidad	Municipio	Cuenca	Paisaje	Rango de lluvia anual (mm)
19	Canoabo	Bejuma	Río Yaracuy	Valle	900-1000
20	Miranda La T.	Miranda	Río Portuguesa	Valle	900-1000
21	Valencia San Luís	Valencia	Lago de Valencia	Valle	1100-1200
22	Los Aguacates	Valencia	Río Portuguesa	Montaña	1300-1400
23	Campo de Carabobo	Libertador	Río Portuguesa	Colinar	1300-1400
24	Manuare	Carlos Arvelo	Río Tiznado	Valle	1200-1300
25	Cartanal	Carlos Arvelo	Río Guárico	Montaña	900-1000

Fuente: elaboración propia.

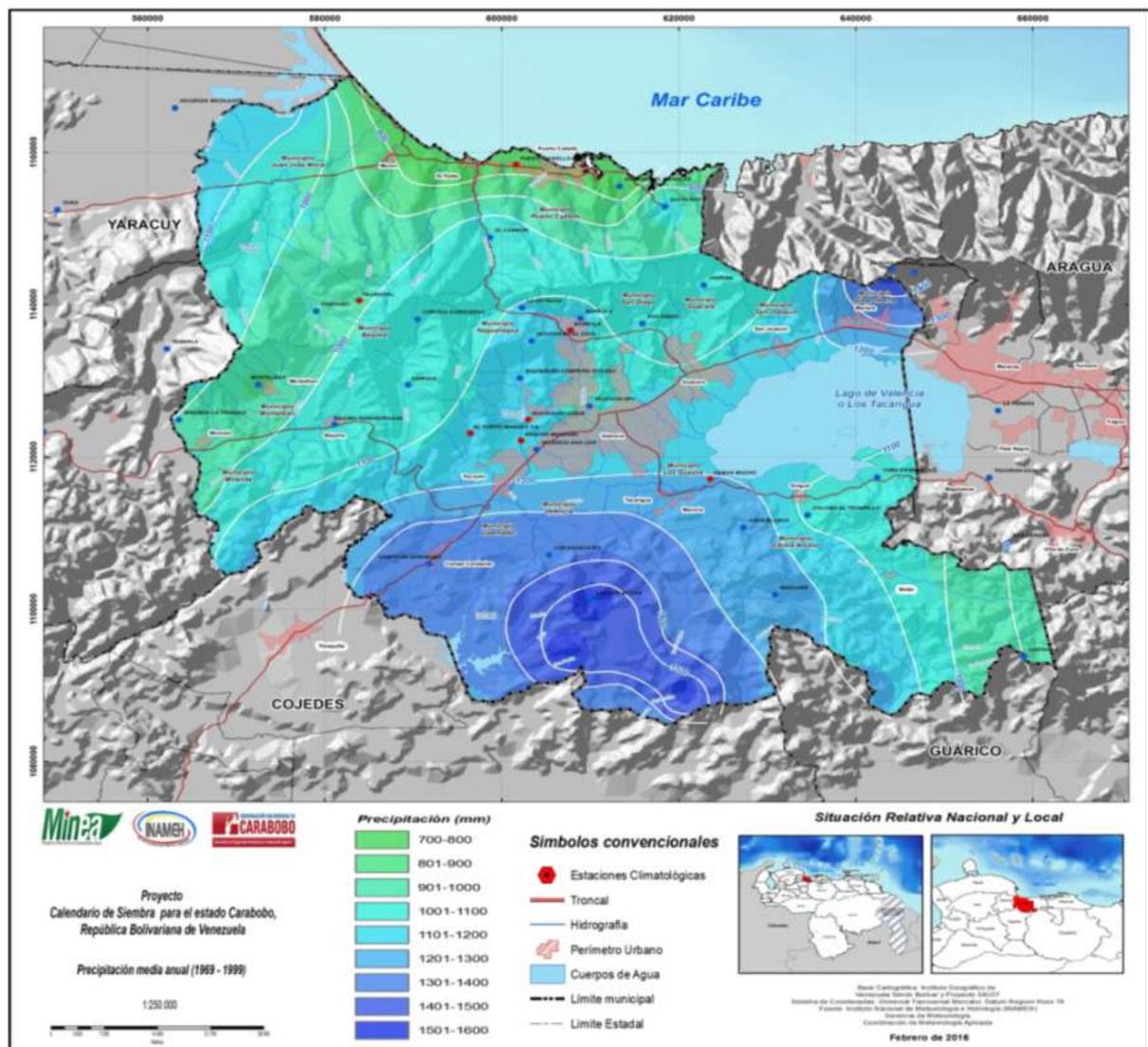


Figura 6. Distribución espacial de la precipitación en el estado Carabobo, Venezuela

Fuente: elaboración propia.

## Discusión

El clima en Venezuela está determinado a grandes rasgos por la circulación atmosférica global que se ubica entre las Altas Presiones Calientes y Secas del Atlántico Subtropical, relacionadas con déficit de lluvias; y las calientes y húmedas Bajas Presiones Ecuatoriales, relacionadas con frecuentes precipitaciones intensas. Por tratarse de sistemas móviles, al trasladarse sobre el territorio nacional generan la temporada de lluvias normalmente entre abril y noviembre, y la temporada seca entre noviembre y marzo.

Los principales factores que influyen a la variabilidad climática en el país son: anticiclón o circulación de alta presión, ciclón extratropical o circulación de baja presión, Zona de Convergencia Intertropical de los alisios (ZCIT), vaguadas, burbujas de aire frío, eje de vientos en chorros, eje de vientos máximos en la altura, restos de frente frío o estacionario, perturbaciones tropicales, ondas tropicales (ondas del este), tormentas tropicales (Martelo, 2003; Ovalles et al., 2005 Olivares et al., 2018).

De los principales factores que influyen a la variabilidad climática, se encuentra la ZCIT, la cual presenta una marcada influencia y dependencia estacional, donde predomina un efecto de brisa mar tierra en el noreste de Sudamérica (Guenni et al. 2008). Esta es una zona que se encuentra entre los regímenes de circulación del hemisferio norte y sur, cuyos bordes siguen las más bajas presiones en las bajas ecuatoriales con gran actividad convectiva, inestabilidad y efectos de precipitación.

El estado Carabobo se ubica en la zona norte de la Cordillera de la Costa, que representa el 10% de la superficie total del país, los factores marítimos, continentales y altitudinales influyen profundamente a los elementos meteorológicos, originando una gran

variedad de tipos climáticos, de Semiáridos a Muy Húmedos y de Cálidos a Fríos (Olivares, 2018). Un poco más al centro sobre la depresión del Lago de Valencia, las planicies presentan cierta protección a los alisios y la precipitación disminuye a valores medios entre 1000 y 1200 mm donde se localizan las poblaciones de Valencia, Guacara, San Joaquín y Mariara.

Finalmente, los máximos valores de precipitación, entre 1200 y 1600 mm al año, se registran al sur del estado, en donde la orografía que conforma la Serranía del Interior, la cual es una formación montañosa que atraviesa varios estados del país, entre ellos Carabobo, tiene efectos en la formación de nubes y la ocurrencia de precipitaciones, abarcando las localidades de Tacarigua, Maruría y Campo de Carabobo.

Según el proceso que da origen a la lluvia en la zona de estudio, estas se catalogan como lluvias de origen convectivo, propias de las áreas de gran insolación y humedad. El aire caliente, húmedo e inestable, asciende formando nubes cumuliformes de gran desarrollo vertical para producir lluvias intensas de poca duración (Paredes-Trejo y Olivares, 2018). Es precisamente la alta intensidad de las lluvias convectivas la que impide su aprovechamiento efectivo en las actividades agrícolas y originan calamidades, tanto en zonas agrícolas como periurbanas, representadas por la pérdida de suelos agrícolas y formación de cárcavas cuando se carece de la debida protección (Guevara, 2004).

Conviene indicar que la asociación entre las fases ENOA (El Niño-Oscilación Austral) y las lluvias en el territorio venezolano muestra en general una alta variabilidad espacial y temporal (Cárdenas et al., 2002). Esta característica ha sido atribuida a las complejas interacciones entre ENOA y ciertos modos de gran escala en el océano Atlántico y la variabilidad de la circulación atmosférica tropical (Martelo, 2003).

En la zona bajo estudio, se han venido desarrollando un conjunto de sistemas de producción, que responde a las condiciones de clima y suelos de las diferentes áreas productivas; la mayoría de ellos altamente dependientes del periodo lluvioso, donde predomina el monocultivo con poca diversidad genética, y con prácticas de manejo generalmente deficiente, a lo cual se atribuyen los indicios de degradación y contaminación de suelos y aguas y la vulnerabilidad debido a la homogeneidad de los materiales genéticos (Cortez et al., 2018; Parra et al., 2018).

La superficie potencialmente agrícola en Carabobo está representada por unos 1973 km<sup>2</sup> (42,53% de la superficie total del estado), donde el 65% corresponde a la caña de azúcar, el 16% a los cereales, el 19% restante distribuido entre cacao, plátano, cambur, tabaco, pimentón y tomate. La caña de azúcar registra un rendimiento de 78.818 kg/ha y el cacao 290 kg/ha. Aquí, los rangos de precipitación bajan de 800-1200 a 400-800 mm. Ya en estas zonas la mayor parte de los rubros mencionados (cacao, caña, hortalizas, musáceas y semilla de cereales) están al menos parcialmente bajo riego. Ello creará mayor competencia por el agua con otros usos como el urbano y exigirá métodos de riego mucho más eficientes que los actuales para mantenerse en la zona (Ovalles et al., 2005; Olivares & Hernández, 2019).

En esta zona se pierden todos los años muchas hectáreas de cultivos que se siembran para aprovechar el agua de lluvia. El caso del maíz es típico en la región centro occidental de Venezuela, ya que los agricultores siembran en suelos con problemas de drenaje interno y susceptibles de inundación por el desborde de los ríos. En este punto, Casanova y Avilán (1983) demostraron que los excesos de humedad afectan drásticamente los rendimientos del maíz, particularmente si

estos excesos ocurren en los primeros 40 días después de la emergencia de las plantas.

El déficit de humedad también disminuye los rendimientos del maíz, pero en una época diferente al exceso de humedad. Se ha demostrado que los rendimientos disminuyen entre el 10 y 20% si el déficit de humedad ocurre en el momento de formación de la mazorca, el 50% si ocurre en el momento de producción de barbas y aproximadamente el 30% si se presenta después de la producción de barbas (Casanova y Avilán, 1983).

El análisis de las series de precipitación mensual y anual refleja una disminución en la duración del período de crecimiento. Esta reducción, aunque no es mucha, si se acentúa en la presencia y duración de los períodos húmedos. Existen estaciones como Bejuma donde se aprecian dos períodos de una duración mayor a los 50 días cada uno. Esta condición no es muy aceptable para el desarrollo de los cultivos, especialmente los de ciclo largo (o perennes), como es el caso de la caña de azúcar, los cítricos y las musáceas (plátano y cambur), ya que la suplencia de agua no es continua sino repartida en dos ciclos o períodos.

Es importante señalar que las repercusiones de la sequía en el sector agrícola ubicado en la Región Central venezolana son considerables, puesto que, al ser de secano la mayor parte de las explotaciones del territorio, el agua constituye el factor limitante de la producción. La reducción o pérdida total de cosechas y el arranque de cultivos permanentes supusieron la desaparición de una importante masa vegetal con consecuencias muy negativas para la resistencia a la erosión del suelo y para el mantenimiento de los niveles de materia orgánica de sus horizontes (Olivares et al., 2016).

## Conclusiones

El estudio permitió estimar la regularidad espacial del comportamiento de la lluvia y del grado de heterogeneidad de este elemento climático año tras año, obteniéndose una caracterización precisa acerca de la variación de las lluvias, su atraso o adelanto en la zona bajo estudio. Se lograron identificar zonas homogéneas con comportamiento similar en cuanto a los procesos pluviométricos y, en particular, a aquellos relacionados con las sequías intensas, lo que permite identificar escalas espaciales o subáreas de influencia de los fenómenos de déficit hidrometeorológico.

Esta investigación proporcionó el análisis regional de la variación espacio temporal de las precipitaciones a partir de datos pluviométricos en el estado Carabobo cuyo comportamiento típico es la marcada estacionalidad (época lluviosa y seca bien definidas) y donde la tendencia mostró un patrón de distribución espacial con una gradación que va de menor a mayor en sentido noreste a sureste, exponiéndose la posibilidad de tener un ambiente físico apto para cierto tipo de actividad agrícola.

Los aportes generados en este estudio representan la base de información en las labores de planificación estratégica, dirigidas en el Plan Nacional de Ordenación del Territorio, lo cual servirá de apoyo para definir e implementar estrategias y convertirlas en el elemento central del proceso de desarrollo sostenible, logrando así una contribución a la reducción de la vulnerabilidad agrícola de estas comunidades.

## Referencias

Ablan, M., Andressen, R., Vargas, M. y Acevedo, M. (2008). Propuesta metodológica para el control de calidad de datos de precipitación. *Agronomía Tropical*, 58(1), 57-60.

Cárdenas, P., García, L. y Gil, C. (2002). Impacto de los eventos El Niño-Oscilación del Sur en Venezuela. Caracas: Corporación Andina de Fomento.

Chong, J. y Xia, J. (2018). MetaboAnalystR: an R package for flexible and reproducible analysis of metabolomics data. *Bioinformatics*, 34(24), 4313-4314.

Córdoba, M., Bruno, C., Costa, J. y Balzarini, M. (2013). Subfield management class delineation using cluster analysis from spatial principal components of soil variables. *Computers and Electronics in Agriculture*, 97, 6-14.

Cortez, A., Rodríguez, M., Rey, J., Ovalles, F., González, W., Parra, R., Olivares, B. y Marquina, J. (2016). Variabilidad espacio temporal de la precipitación en el estado Guárico, Venezuela. *Rev. Fac. Agron. LUZ*, 33(3), 292-310.

Cortez, A., Olivares, B., Parra, R., Lobo, D., Rodríguez, M. y Rey, J. (2018). Descripción de los eventos de sequía meteorológica en localidades de la cordillera central, Venezuela. *Ciencia, Ingenierías y Aplicaciones*, 1(1), 23-45.

Di Rienzo, J., Casanoves F., Balzarini, M., González, L., Tablada, M. y Robledo, C. (2011). InfoStat versión 2011. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Recuperado de: <http://www.infostat.com.ar>

Environmental Systems Research Institute. ESRI. (1996). Arc View GIS. The geographic information system for everyone. Versión 3.2. by ESRI. Product ID: 825921104087.

Guenni, L., Degryze, E. y Alvarado, K. (2008). Análisis de la tendencia y la estacionalidad de

- la precipitación mensual en Venezuela. *Revista Colombiana de Estadística*, 31(1), 41-65.
- Guevara, J. (2004). *Meteorología*. Caracas: Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico, UCV.
- Guevara, J. (2003). *Métodos de estimación y ajuste de datos climáticos*. Caracas: Consejo de desarrollo científico y humanístico, UCV.
- Hernández, R., Pereira, Y., Molina, J., Coelho, R., Olivares, B. y Rodríguez, K. (2017). *Calendario de siembra para las zonas agrícolas del estado Carabobo en la República Bolivariana de Venezuela*. Sevilla: Editorial Universidad Internacional de Andalucía.
- Jones, B. y Sall, J. (2011). JMP statistical discovery software. *WIREs Computational Statistics*, 3(3), 188-194.
- Lobo, D., Cortez, A., Rodríguez, M., Ovalles, F., Rey, J., Gabriels, D. y Parra, R. (2010). Análisis de la agresividad y concentración de las precipitaciones en Venezuela. I. Región de los Llanos. *Bioagro*, 22(3), 169-176.
- Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales, Venezuela. MARN. (2005). *Primera Comunicación Nacional en Cambio Climático de Venezuela*. Caracas: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.
- Martelo, M. (2003). *La precipitación en Venezuela y su relación con el sistema climático*. Caracas: Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales, Dirección General de Cuencas Hidrográficas, Dirección de Hidrología, Meteorología y Oceanía.
- Olivares B., Caraballo, L. y Torrealba, J. (2013). Variability of the precipitation regime in the period 1990-2009 in the location of El Tigre, Anzoátegui state, Venezuela. *Rev. Fac. Agron: LUZ*, 30(1), 19-32.
- Olivares, B. y Hernández, R. (2019). Sectorización ecoterritorial para la producción agrícola sostenible del cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) en Carabobo, Venezuela. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 20(2), 339-354.
- Olivares, B. (2018). Condiciones tropicales de la lluvia estacional en la agricultura de secano de Carabobo, Venezuela. *La Granja: Journal of Life Sciences*, 27(1), 84-100.
- Olivares, B., Parra, R y Cortez, A. (2017). Characterization of precipitation patterns in Anzoátegui state, Venezuela. *Ería*, 3, 385-387.
- Olivares, B., Guevara, E. y Demey, J. (2012). Utilización de bioindicadores climáticos en sistemas de producción agrícola del estado Anzoátegui, Venezuela. *Multiciencias*, 12 (2), 136-145.
- Olivares, B., Hernández, R., Coelho, R., Molina, J. y Pereira, Y. (2018). Analysis of climate types: Main strategies for sustainable decisions in agricultural areas of Carabobo, Venezuela. *Scientia Agropecuaria*, 9(3), 359 – 369.
- Olivares, B., Parra, R., Guevara, E., Cortez, A. y Rodríguez, M. (2012). Patrones de homogeneidad pluviométrica en estaciones climáticas del estado Anzoátegui, Venezuela. *Multiciencias*, 12, 11 – 17.
- Olivares, B., Cortez, A., Lobo, D., Parra, R., Rey, J. y Rodríguez, M. (2016). Estudio de la Sequía Meteorológica en Localidades de los Llanos de Venezuela Mediante el Índice

- de Precipitación Estandarizado. *Acta Nova*, 7(3), 266-283.
- Olivares, B., Cortez, A., Parra, R., Rodríguez, M. y Guevara, E. (2013). Application of statistics procedures for the quality control of the monthly rainfall series in the Venezuelan Oriental Plains. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 30(3), 367-391.
- Olivares, B., Zingaretti, M., Demey, J. y Demey, J. (2017). Aplicación del método STATIS-ACT al régimen de lluvias en la Región Oriental Venezolana. *UNED Research Journal*, 9(1), 97-106.
- Organización Meteorológica Mundial, Suiza. OMM. (2011). Guía de prácticas climatológicas. OMM-N°100. Recuperado de [http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/ccl/guide/documents/wmo\\_100\\_es.pdf](http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/ccl/guide/documents/wmo_100_es.pdf)
- Ovalles, F., Cabrera-Bisbal, E., Cortez, A., Núñez, M., Rodríguez, M., Rey, J. y Comerma, J. (2005). Aproximación a los escenarios de adaptación al cambio climático del sector agrícola. Maracay: INIA.
- Ovalles, F., Cortez, A., Rodríguez, M., Rey, J. y Cabrera-Bisbal, E. (2008). Variación geográfica del impacto del cambio climático en el sector agrícola en Venezuela. *Agronomía Trop*, 58(1), 37 – 40.
- Paredes-Trejo, F., Guevara-Pérez, E., Barbosa-Alves, H. y Uzcátegui-Briceño, C. (2015). Tendencia de la precipitación estacional e influencia de El Niño-Oscilación Austral sobre la ocurrencia de extremos pluviométricos en la cuenca del lago de Valencia, Venezuela. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 6(6), 33-48.
- Paredes, F., La Cruz, F. y Guevara, E. (2014). Análisis regional de frecuencia de las sequías meteorológicas en la principal región cerealera de Venezuela. *Bioagro*, 26(1), 21-28.
- Paredes-Trejo, F. y Olivares, B. (2018). Venezuela. En J. Núñez y K. Verbist (Eds.), *Atlas de Sequía de América Latina y el Caribe* (127-136). Francia: UNESCO.
- Parra, R., & Cortez, A. (2005). Control de calidad de series de precipitación de las series de precipitación del INIA Venezuela en el periodo 1970-2000. *Rev. Arg. de Agrometeorología*, (5-6), 63-73.
- Parra, R., Olivares, B., Cortez, A., Lobo, D., Rodríguez, M. y Rey, J. (2018). Características de la sequía meteorológica (1980-2014) en dos localidades agrícolas de los Andes Venezolanos. *Revista de Investigación*, 42(95), 38-55.
- Rodríguez, M., Cortez, A., Olivares, B., Rey, J., Parra, R. y Lobo, D. (2013). Análisis espacio temporal de la precipitación del estado Anzoátegui y sus alrededores. *Agronomía Trop*, 63(1-2), 57-65.
- Webster, R. y Oliver, M. (1990). *Statistical methods in soil and land resource survey*. Oxford: Oxford University Press.
- Xia, J., Psychogios, N., Young, N. y Wishart, D. (2009). MetaboAnalyst: a web server for metabolomic data analysis and interpretation. *Nucleic Acids Research*, 37(2), W652–W660.