

BARLIN ORLANDO OLIVARES*, RAQUEL PARRA** Y ADRIANA CORTEZ***

* Universidad Internacional de Andalucía. ** Universidad Central de Venezuela

*** Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias (CENIAP)

Caracterización de los patrones de precipitación en el estado Anzoátegui, Venezuela

RESUMEN

En la escala nacional, la caracterización de la precipitación representa un papel fundamental en el comportamiento de los sistemas agroecológicos del país y en las actividades humanas. El presente estudio tiene como objetivo caracterizar los grupos de estaciones climáticas con precipitaciones homogéneas en el estado Anzoátegui. Para la determinación de los grupos se realizó el análisis de agrupamiento jerárquico y el análisis de componentes principales (ACP) usando 40 estaciones climáticas ubicadas en el estado oriental para el periodo 1970-2000. Posteriormente, se realizó la caracterización en base a la magnitud de la precipitación, tipo de régimen de lluvia y origen de la misma. El método y los resultados de esta investigación son de gran utilidad para varias disciplinas y sirven para tomar decisiones que pueden afectar las actividades humanas.

RÉSUMÉ

Caractérisation des régimes de précipitations dans l'état Anzoátegui, Venezuela. - À l'échelle nationale, la caractérisation des précipitations joue un rôle fondamental dans le comportement des systèmes agroécologiques du pays et dans les activités humaines. L'objectif de cette étude est de caractériser les groupes de stations climatiques ayant des précipitations homogènes dans l'état d'Anzoátegui. Pour la détermination des groupes, l'analyse de classification hiérarchique et l'analyse de composantes principales (ACP) ont été effectuées en utilisant 40 stations climatiques situées dans l'état de l'Est pour la période 1970-2000. Par

la suite, la caractérisation a été faite sur la base de l'ampleur de la précipitation, le type de régime des précipitations et l'origine de celle-ci. La méthode et les résultats de cette recherche sont très utiles pour plusieurs disciplines et servent à prendre des décisions qui peuvent affecter les activités humaines.

ABSTRACT

Characterization of precipitation patterns in the Anzoátegui state, Venezuela. - At the national level the characterization of the precipitation plays a key role in the behavior of the country's agro-ecological systems and in the human activities. The present study aims to characterize groups with homogeneous precipitation seasons in Anzoátegui state. To determine the groups hierarchical cluster analysis and Principal Component Analysis (PCA) using 40 weather stations located in the eastern state for the 1970-2000 period was performed. Subsequently, the characterization is based on the amount of precipitation, rainfall regime type and its origin. The method and the results of this research are so useful for several disciplines and serve to make decisions that can affect human activities.

PALABRAS CLAVE/MOTS CLÉ/KEYWORDS

Datos climáticos, análisis de componentes principales, geoestadística. Données climatiques, analyse de composants principaux, géostatistique. Climatic data, Principal Component Analysis, Geostatistics.

I. INTRODUCCIÓN

La posibilidad de un cambio global, como resultado de las emisiones de origen antrópico de gases de efecto invernadero, se convirtió en una importante preocupación de la comunidad científica internacional hace más de dos décadas (MARN, 2005). La Primera Comunicación Nacional de Venezuela en Cambio Climático revela la existencia de patrones espaciales en la distribución geográfica de las variables climáticas, principalmente en cuanto a los valores de precipitación. De este modo, exis-

ten algunas regiones donde los cambios son poco significativos, mientras que para otras zonas se esperan reducciones de hasta un 25 % en los valores de precipitación.

En Venezuela el 94,3 % del aprovechamiento agrícola de las tierras se realiza bajo las condiciones naturales del clima y sólo el 5,7 % en regadío (MARN, 2005). Con riego, la mayor superficie la ocupan el arroz, los cereales y la caña de azúcar. Hortalizas y frutales también son irrigadas, tanto en pisos bajos como en los pisos premontanos y montanos. Esta agricultura demanda materiales genéticos de alto rendimiento y un uso intensivo de los

suelos y el agua. Y, por tanto, es muy dependiente de insumos tecnológicos que generan o pueden generar problemas de deterioro de los recursos naturales y contaminación ambiental.

En el marco de esta Primera Comunicación Nacional de Venezuela en Cambio Climático, se realizó la evaluación general de impactos sobre diversos sectores derivados de dicho fenómeno y las posibles medidas de adaptación. Según las diferentes investigaciones realizadas por expertos en relación con el cambio climático (Martelo, 2000; Olivo y otros, 2001; Martelo, 2003; Montilla y otros, 2003; Martelo, 2004; Puche y otros, 2004; Ovalles y otros, 2005), se prevé en general un aumento de la temperatura media, debido al aumento de las temperaturas nocturnas. 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.

Las variables climáticas conforman una parte fundamental del ecosistema agrícola. El conocimiento de su comportamiento, cambios temporales, asociaciones e interrelaciones con otros componentes del sistema (cultivo, plagas, enfermedades, entre otros) facilita la planificación agropecuaria, permitiendo una mejor utilización de los recursos (Rodríguez y Messina, 1998). Por tanto, es necesaria una caracterización precisa de las precipitaciones y el régimen de lluvias en cada zona. Así, clasificar y describir zonas con patrones homogéneos de este elemento climático es una primera aproximación en el desarrollo de modelos para diversas predicciones (Demey y otros, 1995; Guenni y otros, 2008; De Luis y otros, 2010; Martín Vide, 2011; Miró y otros, 2015).

Entre los diversos métodos de clasificación climática, varios autores (Pla, 1986; Demey y otros, 1995; Olguín y otros, 2011; Pradere, 1999) coinciden en que el análisis de componentes principales (ACP) es una herramienta útil en la climatología por permitir simplificar los datos originales, representándolos en un menor número de variables, las cuales contienen la mayor parte de la información. Por esto es ampliamente utilizada por profesionales del área meteorológica para la delineación de patrones de las variables climáticas. Se trata, en efecto, de una técnica multivariante que puede ser aplicada a diferentes problemas en las ciencias, sobre todo en tareas de diagnóstico o predicción (Zambrano y otros, 1995). Así lo corrobora su aplicación en la determinación de áreas homogéneas de precipitación (Demey y otros, 1995), en el estudio de la distribución espacial de la lluvia (Demey y Pradere, 1996), en la definición de patrones homogéneos de pluviosidad en los llanos centrales venezolanos mediante *kriging factorial* (Pradere, 1999) y en la aplicación



FIG. 1. Localización del área de estudio.

del índice de homogeneidad múltiple a datos climáticos de Venezuela (Pineda y otros, 2006).

El análisis espacial de variables climáticas es de suma importancia para poder comprender el comportamiento de fenómenos naturales que varían espacialmente influenciadas por el medio físico que las rodea, es una herramienta de gran utilidad para variadas disciplinas y sirve para tomar decisiones que pueden afectar a las actividades humanas.

En definitiva, el conocimiento de la distribución espacial de las lluvias representa un aspecto esencial para comprender los regímenes de precipitación y para clasificar áreas de acuerdo a la similitud entre los datos pluviométricos de estaciones vecinas. Por tanto, el objetivo de este trabajo es caracterizar los patrones de precipitación, mediante el uso del análisis por componentes principales (ACP) y el análisis de agrupamiento jerárquico.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se refiere al estado venezolano de Anzoátegui, que en buena medida se extiende sobre los llanos orientales del Orinoco. Se pueden diferenciar dos sectores bien delimitados en la depresión del río Unare, con una superficie de 2.321 km², correspondiendo una parte al territorio de referencia de este trabajo. La depresión está integrada en la región de Los Llanos, aunque desde el punto de vista geológico presenta singularidad respecto al conjunto por su origen (INE, 2011). En el área referida son comunes las llanuras, aunque también hay

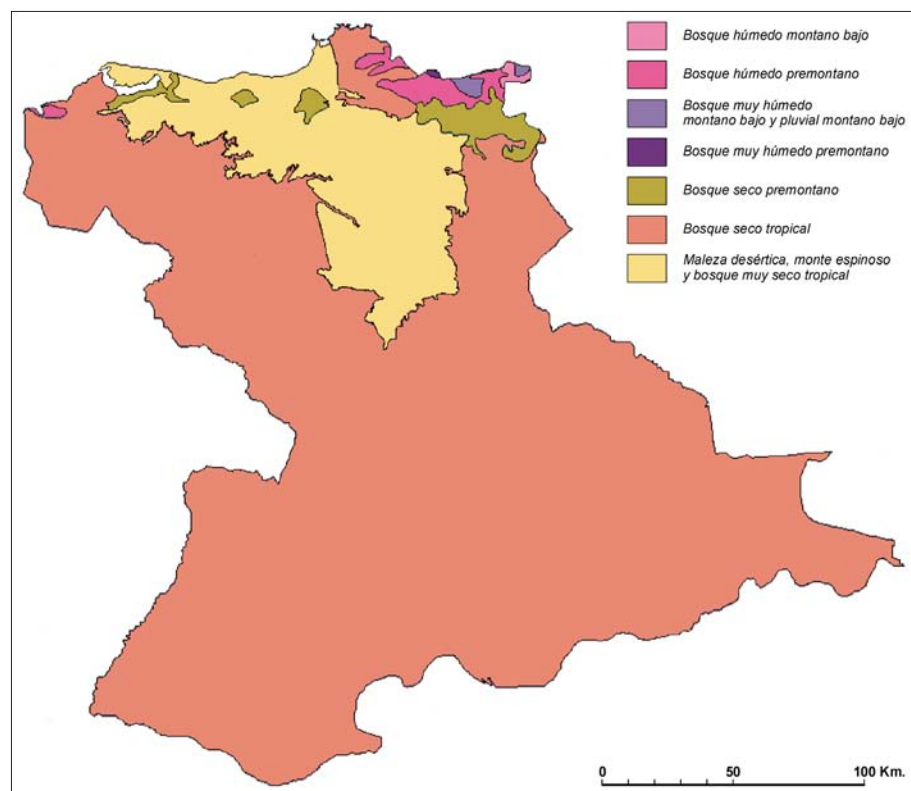


FIG. 2. Biomas del estado Anzoátegui, Venezuela. Fuente: Rodríguez y Rey, 2004.

«mesas», entre las que destaca la de Guanipa. También destaca la cota más elevada del estado, el cerro Tristeza (2.660 m) en la cordillera oriental.

Los promedios de las precipitaciones anuales van de 530 mm al año para la estación Puerto La Cruz a 1.400 mm en Musinacio. Gran parte del estado Anzoátegui está cubierto por el bosque seco tropical, con excepción del sector noroeste que presenta una estrecha franja semiárida del tipo muy seco tropical. Al noreste, se extienden las formaciones nemorales secas premontanas y húmedas premontanas, características de zonas altas limítrofes con el estado Monagas (Fig. 1).

Los valores de precipitación mensual utilizados para este estudio corresponden a 40 estaciones pluviométricas ubicadas en el estado Anzoátegui durante el periodo de registro de 1970-2000. Posterior a la selección de estas estaciones, se aplicaron las pruebas de control de calidad de datos recomendadas por Parra y Cortéz (2005) y Olivares y otros (2013) representadas por la determinación de lagunas, el cálculo de estadística descriptiva, análisis de dispersión y homogeneidad de las series temporales de precipitación.

Para la determinación de los grupos homogéneos se aplicó el análisis de agrupamiento jerárquico, diseñado

para revelar las agrupaciones naturales (los conglomerados) dentro de un conjunto de datos. Se recurrió al método de mínima varianza de Ward, donde la distancia entre los dos grupos es la suma de los cuadrados de análisis de varianza entre los dos grupos añadidos a lo largo de todas las variables (SAS, 2010). Ambos análisis se describen con mayor énfasis en el estudio previo denominado *Grupo de estaciones climáticas con patrones homogéneos de precipitación en el estado Anzoátegui*, según Olivares y otros (2012).

De acuerdo al análisis de agrupamiento jerárquico realizado, la Fig. 3 muestra el dendograma obtenido según el método de mínima varianza de Ward. En ella se observa el establecimiento de cinco grupos de estaciones climáticas con patrones homogéneos de precipitación en el estado Anzoátegui.

Se recurrió al análisis de componentes principales (ACP) expuesto por Pla (1986) para el análisis estadístico. La matriz de datos X está constituida por el conjunto de vectores de las observaciones $X[ij]$, $j=1, \dots, p$ y donde cada vector $X[ij]$ presenta la variable j -ésima para todas las observaciones y donde X es la matriz de datos formada por « n » observaciones con « p » variables (40 observaciones con 24 variables correspondientes al promedio y la desviación estándar de cada uno de los meses).

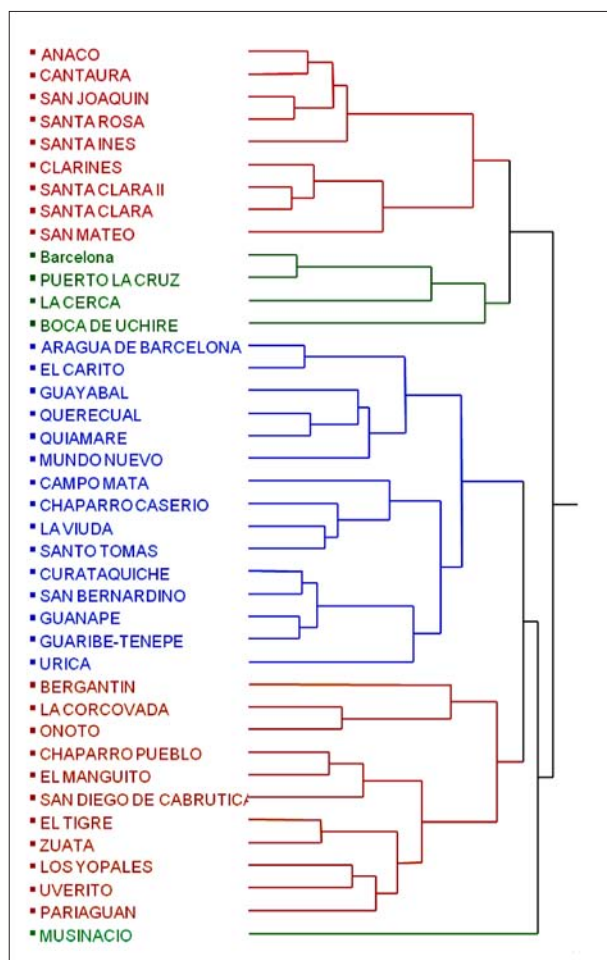


FIG. 3. Dendrograma según el método de Ward. Fuente: Olivares y otros, 2012.

Se utilizó el Sistema de Información Geográfica (SIG) ArcView 3.2 (ESRI, 1996) para espacializar las estaciones climáticas con su información atributiva que aportan datos del organismo responsable, nombre de la estación, estado, código de la estación, tipo de estación, coordenadas geográficas y altitud (Metada).

Los datos de precipitación promedio mensual y anual fueron sometidos a un análisis exploratorio de datos (AED) para el cual se utilizó el programa estadístico Infostat (Infostat, 2008); se obtuvieron los estadísticos básicos (media, varianza, desviación estándar, coeficiente de variación, curtosis, asimetría, valores máximos y mínimos y cuartiles) y la presencia de valores atípicos.

De acuerdo a los resultados del AED, este estudio se inclinó por la utilización de un estadístico de posición como el percentil 75 (P75) que indica el monto por debajo del cual se encuentran el 75 % de las láminas de precipitación.

Para el análisis temporal de precipitación se utilizaron los datos de P75 %, posteriormente, se especializó utilizando geoestadística. En este sentido, se construyeron los semivariogramas experimentales y fueron ajustados a modelos teóricos, como base para la interpolación y generación de mapas de isóneas de precipitación del estado Anzoátegui, mediante el método de *kriging* ordinario (KO). Finalmente se generaron y editaron en los mapas de las láminas de precipitación anual y el número de meses húmedos para el estado.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con respecto al ACP, los valores propios de los cinco primeros componentes principales (CP) resultaron superiores al promedio según el criterio de Kaiser, el cual incluye sólo aquellos componentes cuyos valores propios son superiores al promedio. Estos cinco CP logran explicar el 79,98 % de la varianza total, el cual es considerado como un porcentaje significativamente alto, el resto de los 19 componentes sólo explican el 21,10 % de la variación existente (Cuadro I).

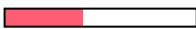
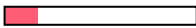
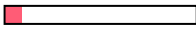
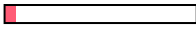
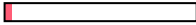
De acuerdo al análisis, los valores propios más altos se presentan en los primeros cinco componentes, lo cual coincide con la mayor proporción de la varianza absoluta y acumulada. El primer componente está representado por el 41,26 % del total de la varianza; el segundo componente principal fue de un 17,39 %; el tercer componente principal explica un 10,02 %; el cuarto componente un 7,09 %, y el quinto componente corresponde con el 4,22 % para acumular un 79,98 % en total de variabilidad explicada.

También puede observarse mediante el gráfico que la primera «onda» incluye los primeros cinco componentes y la segunda alcanza hasta el decimotercer componente. La Fig. 4 muestra la distribución de la varianza explicada entre el total de 24 componentes principales de los datos bajo análisis, coincidiendo este criterio de selección con el de Kaiser.

Para determinar las variables de cada uno de estos componentes seleccionados que explican la variabilidad, se tomaron en cuenta solamente aquellas variables cuyo coeficiente con la matriz de transformación (Cuadro II) tenían un valor igual o superior a 0,29 (Demey y otros, 1995).

De acuerdo a la caracterización del primer componente, este grupo es el que presentó la varianza más alta, por lo tanto la mayor capacidad explicativa de los datos, 41,26 % del total. Se observaron valores positivos en

CUADRO I. Valores propios y proporción de la varianza explicada calculada a partir de la matriz de correlación

Componentes	Valor propio	Porcentaje (%)	Gráfico del porcentaje (%)	Porcentaje acumulado (%)
1	9,90	41,26		41,26
2	4,17	17,39		58,65
3	2,40	10,02		68,68
4	1,70	7,09		75,77
5	1,01	4,22		79,99

CUADRO II. Matriz de transformación: correlaciones con las variables originales

VARIABLES*	C1	C2	C3	C4	C5
P Ene	0,14101	0,37449	-0,24206	0,02251	-0,05508
P Feb	0,21924	0,22204	-0,27608	-0,06219	0,18927
P Mar	0,21732	0,22392	0,23025	-0,01496	0,12052
P Abr	0,22868	-0,11997	-0,05982	0,43211	-0,05479
P May	0,29823	-0,19424	0,05674	0,00773	0,13142
P Jun	0,23743	-0,23644	0,04086	-0,10478	-0,02842
P Jul	0,29318	-0,14175	-0,00822	-0,19542	-0,16470
P Ago	0,29990	-0,09759	-0,10125	-0,18413	-0,00640
P Sep	0,27083	-0,04920	-0,02445	-0,24344	-0,24471
P Oct	0,25191	0,08237	-0,15253	-0,17098	-0,12214
P Nov	0,18149	0,32202	0,22429	-0,00908	-0,16818
P Dic	0,16091	0,36160	0,17259	-0,09874	-0,00153
D Ene	0,14685	0,32494	-0,30026	0,05747	-0,10913
D Feb	0,20296	0,11192	-0,27071	-0,13740	0,22304
D Mar	0,16856	-0,06697	0,30883	-0,24222	0,34080
D Abr	0,15665	-0,11820	-0,19258	0,51184	-0,11211
D May	0,29532	-0,20548	0,14192	0,04755	0,06789
D Jun	0,18715	-0,26893	0,13363	-0,08723	0,10090
D Jul	0,18184	-0,06633	0,05055	0,09804	-0,28197
D Ago	0,18849	-0,03711	-0,17072	0,25142	0,25921
D Sep	0,17131	-0,07889	0,15216	0,04786	-0,47814
D Oct	0,16182	-0,06717	-0,06122	0,17031	0,44582
D Nov	0,11618	0,13618	0,34623	0,39456	-0,01130
D Dic	0,05542	0,30471	0,42078	0,12134	0,12617

* P: Promedio; D: Desviación estándar.

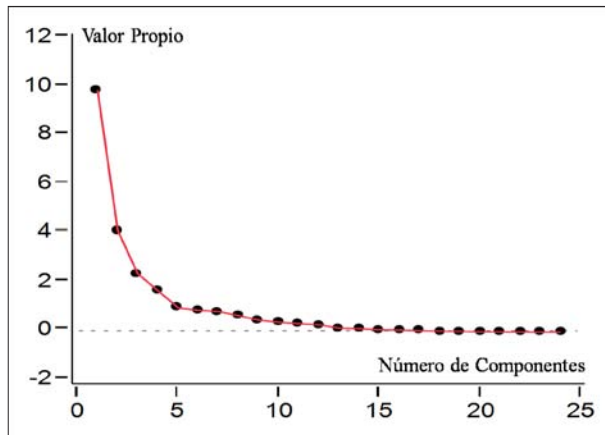


FIG. 4. Variaciones explicadas por los componentes vía matriz de correlación.

proporciones superiores al 0,30 de los promedios de los meses de mayo, julio y agosto y la desviación del mes de mayo, variables que reflejan un pico lluvioso en el verano astronómico, producto de la convergencia intertropical en la región de los llanos venezolanos (Fig. 6).

Los resultados pueden ser comprendidos como de un componente con magnitud asociada a observatorios pluviométricos que presentan promedios elevados de lluvia en julio y agosto, con una dispersión vinculada a la variabilidad de la lluvia, generando, de algún modo, incertidumbre en la planificación de la actividad agraria desarrollada. Siguiendo a Demey y otros (1995), las estaciones con valores más altos de este componente definen el patrón de precipitación, siendo este aspecto relevante en la ponderación de grupos homogéneos.

Este grupo de estaciones presenta un periodo húmedo la mayor parte del año, desde abril-mayo hasta noviembre-diciembre con un pico en julio y agosto. Se ubican al noreste del estado. Comprende las planicies lacustrinas y de posición baja. Las estaciones son Anaco, Cantaura, San Joaquín, Santa Rosa, Santa Inés, Clarines, Santa Clara, Santa Clara II y San Mateo.

El segundo componente explicó el 17,39 % de la variabilidad total. Se relaciona con los promedios correspondientes a enero, noviembre, diciembre y a la desviación del mes de diciembre, variables que muestran un pico lluvioso a finales del año (Fig. 6). Se asocia con los

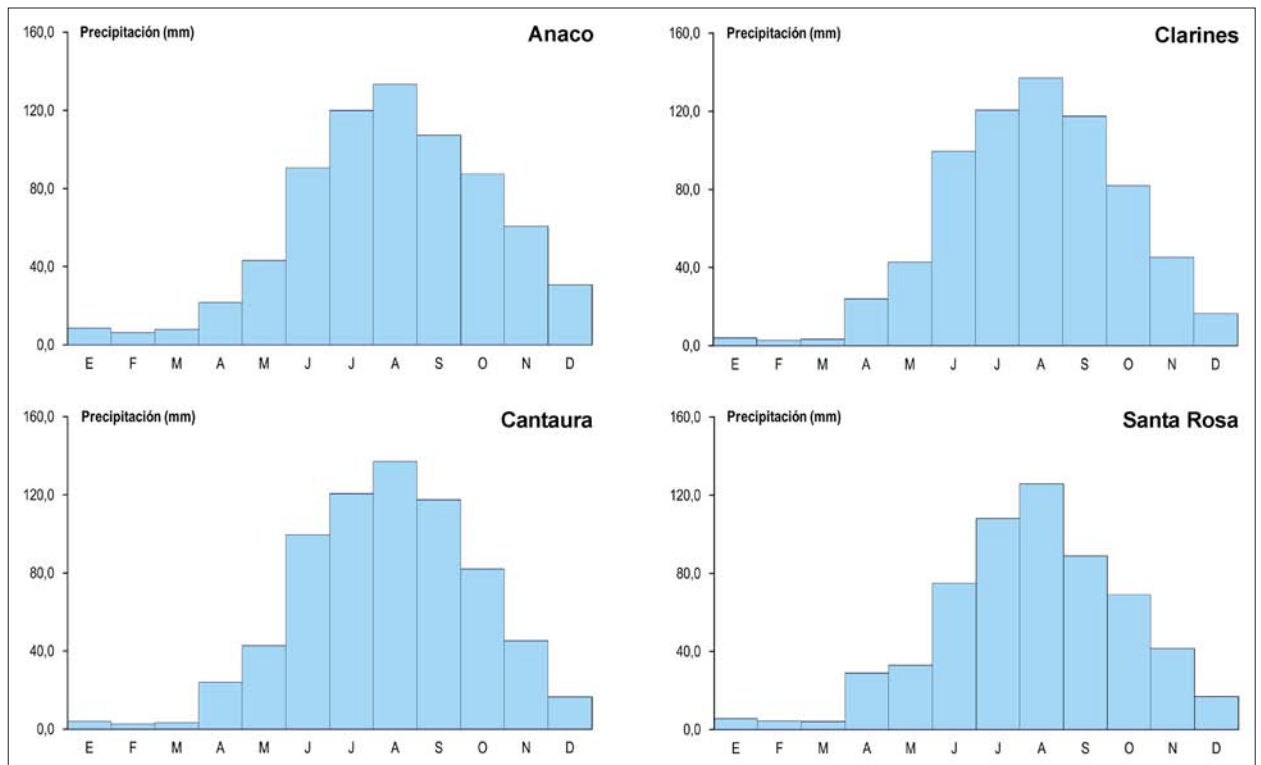


FIG. 5. Comportamiento promedio anual de la precipitación en las estaciones estudiadas pertenecientes al primer grupo. (a) Anaco; (b) Clarines; (c) Cantaura; (d) Santa Rosa.

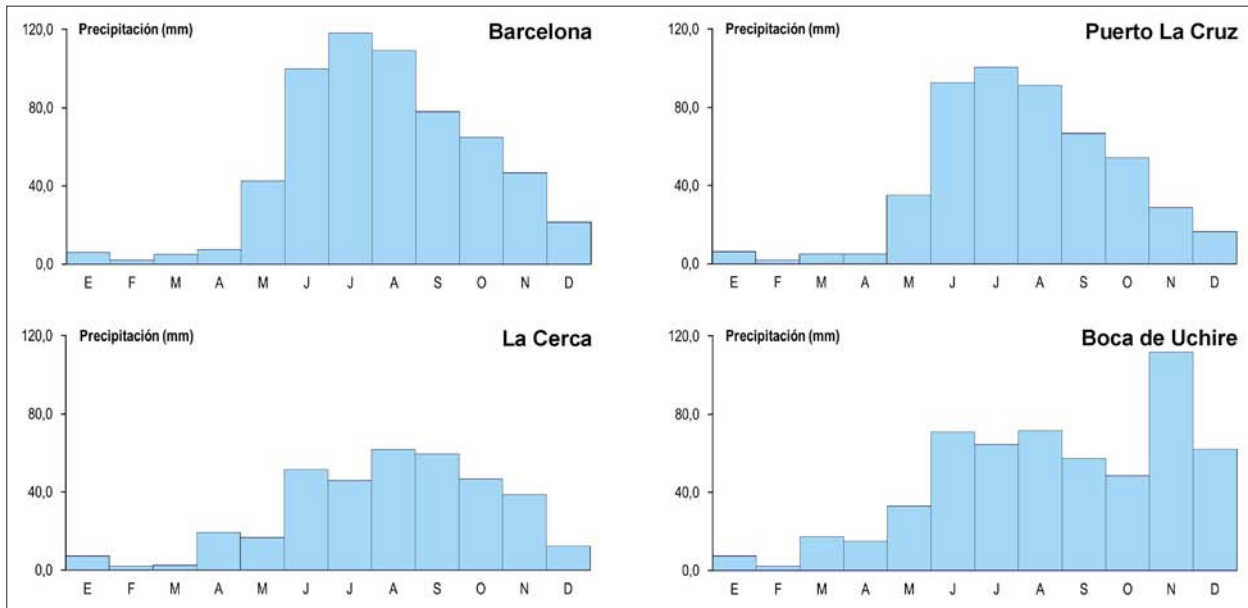


FIG. 6. Comportamiento promedio anual de la precipitación en las estaciones estudiadas pertenecientes al segundo grupo. (a) Barcelona; (b) Puerto La Cruz; (c) La Cerca; (d) Boca de Uchire.

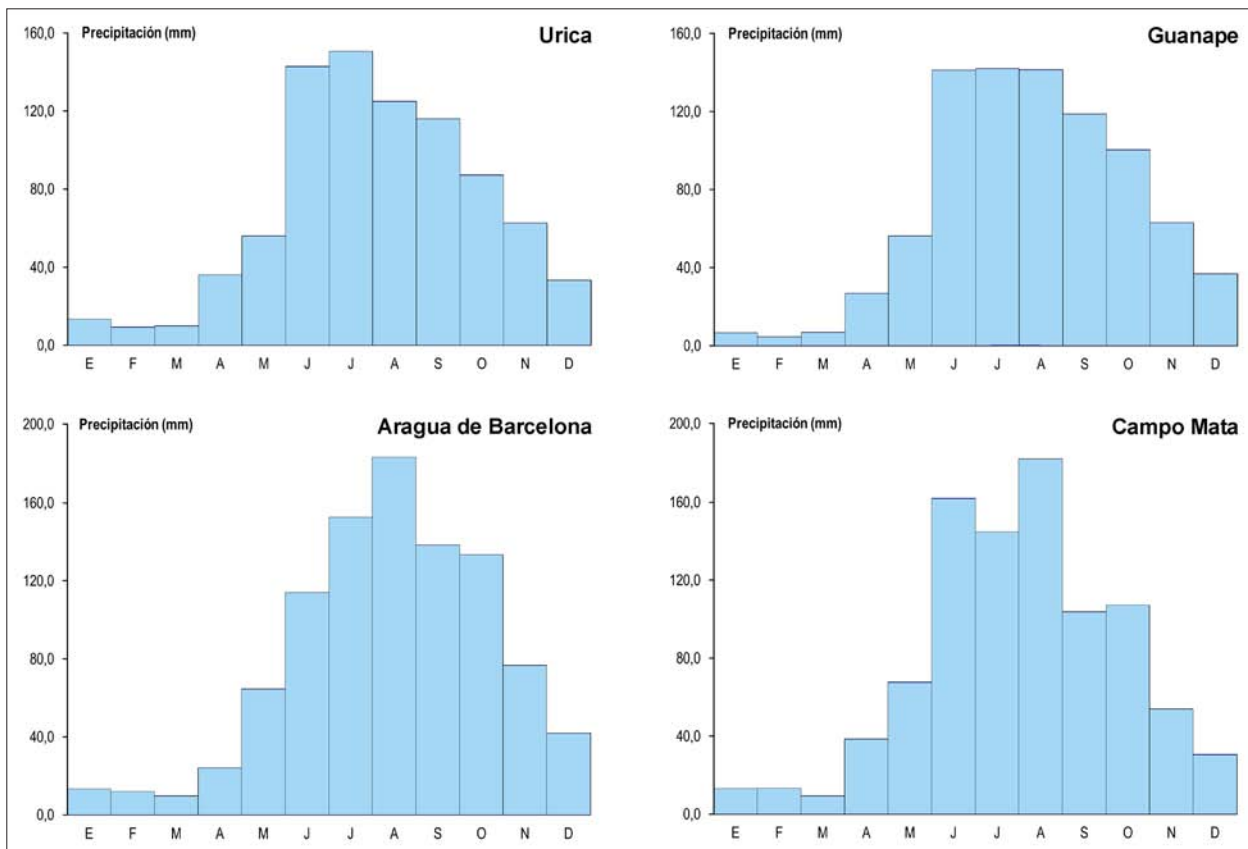


FIG. 7. Comportamiento promedio anual de la precipitación en las estaciones estudiadas pertenecientes al tercer grupo. (a) Urica; (b) Guanape; (c) Aragua de Barcelona; (d) Campo Mata.

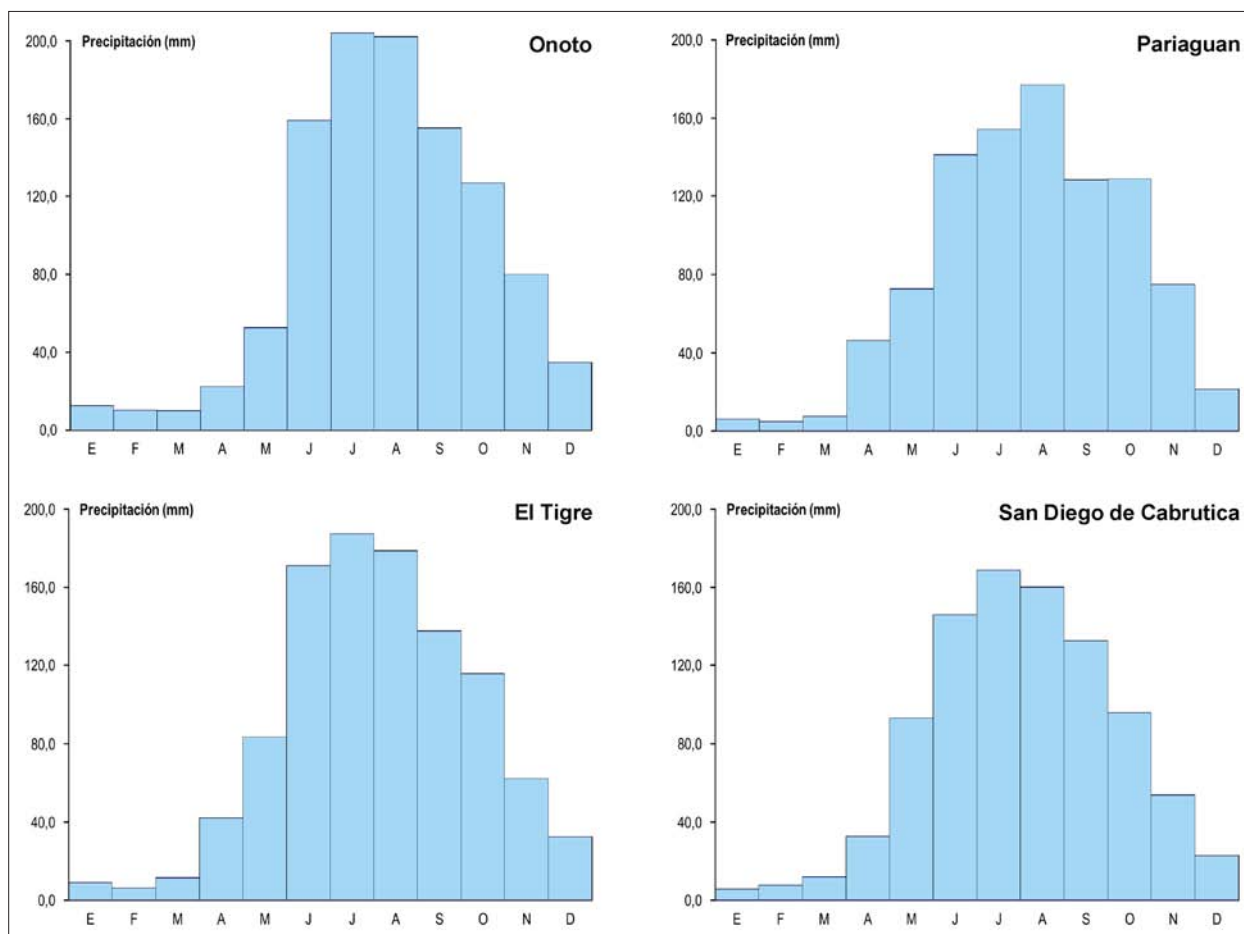


FIG. 8. Comportamiento promedio anual de la precipitación en las estaciones estudiadas pertenecientes al cuarto grupo. (a) Onoto; (b) Pariaguan; (c) El Tigre; (d) San Diego de Cabrutica.

observatorios pluviométricos que tienen promedios de lluvia elevados en los meses de noviembre y diciembre, siendo el clima en estas estaciones semiárido.

Es el grupo de estaciones más seco de todos, tendiendo a un período húmedo a finales de año. Se ubican al norte del estado, comprende parte de la zona costera, con paisajes de colinas. Las estaciones dentro de este grupo las constituyen: Barcelona, Puerto La Cruz, La Cerca y Boca de Uchire.

En cuanto al tercer componente, explicó el 10,02 % de la varianza total. Está en relación con la desviación estándar del mes de marzo, noviembre y diciembre (Fig. 7). En este caso, el grupo de estaciones presenta una dispersión no despreciable para estos meses y probablemente de trascendencia para labores agrícolas como preparación de suelos, siembra, aplicación de abonos y/o enmiendas y la cosecha, en la zona de estudio.

En este grupo, tiende a ser más marcada la diferencia entre los periodos lluviosos de abril-octubre y seco de noviembre-marzo. Se ubican al noroeste del estado, con unidades de paisajes comprendidas entre planicies, altiplanicies y colinas. Las estaciones pertenecientes a este grupo son Aragua de Barcelona, El Carito, Guayabal, Querecual, Quiamare, Mundo Nuevo, Campo Mata, Chaparro Caserío, La Viuda, Santo Tomás, Curataquiche, San Bernardino, Guanape, Guaribe-Tenepe y Úrica.

Asimismo, un 7,09 % del total de la varianza es explicado por el cuarto componente. Se relaciona con el promedio y la desviación estándar de abril, siendo los valores absolutos superiores al 30 % (Fig. 8). Este grupo es húmedo durante el periodo de mayo-octubre, con valores máximos de precipitación en el mes de agosto y un periodo seco muy marcado el resto del año. Las estaciones se ubican al sur del estado, caracterizado por paisajes tipo

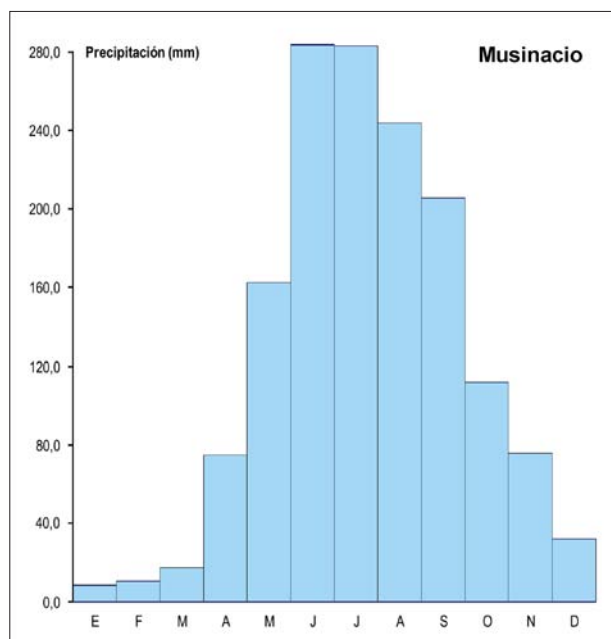


FIG. 9. Comportamiento promedio anual de la precipitación en la estación Musinacio perteneciente al quinto grupo.

planicies lacustrinas. Aquí se encuentran las estaciones de Bergantín, La Corcovada, Onoto, Chaparro Pueblo, El Manguito, San Diego de Cabrutica y El Tigre.

El quinto componente explica el 4,22 % de la variabilidad total y se asocia a la desviación estándar de los meses de marzo y octubre. Corresponde al observatorio pluviométrico con promedios de lluvia elevados en los meses secos con una dispersión no despreciable para los meses indicados (Fig. 9). Este grupo es húmedo de octubre a diciembre. Enero, febrero y marzo tienden a ser secos. Los montos de lluvia mensual superan a los promedios de los grupos anteriores. Se ubica al suroeste del estado, caracterizado por paisajes de planicies. La estación perteneciente a este grupo es Musinacio.

A partir de la revisión de la matriz de correlación entre las variables originales y los componentes principales es posible elaborar la Fig. 10, que subraya cómo las variables más significativas en cada caso se encuentran más cerca del círculo de radio uno; es decir, las más asociadas al componente se encontrarán más próximas a la unidad.

Así, el reparto geográfico de las estaciones empleando los CP puede deberse a los factores que influyen en la distribución de las lluvias descritos por Mallants y Feyen (1990). De este modo, según lo expuesto, se establece que el ACP es sensible a los efectos orográficos, teniendo en cuenta el efecto relieve y la topografía (Demey y otros, 1995).

Fundamentalmente, se observaron la composición y la distribución de los grupos y las estaciones de los cinco conjuntos generados por el ACP, mediante el análisis cuantitativo, en función de los promedios y desviaciones estándar mensuales, para un periodo continuo de registros de 31 años. La Fig. 11 muestra la lámina promedio de precipitación anual en todo el territorio de Anzoátegui y la ubicación de las estaciones estudiadas.

De acuerdo a la Fig. 12, se observa claramente el número de meses húmedos característicos del estado Anzoátegui, donde la mayor parte del territorio posee entre tres y seis meses húmedos, correspondientes al bosque seco tropical y bosque muy seco tropical.

En el estado Anzoátegui el incremento de la cantidad de precipitación y la variabilidad ha generado cambios en la actividad agrícola de secano, provocando alteraciones en los rendimientos de los principales cultivos de la zona.

Este tipo de estudios de caracterización de la precipitación, en zonas de alta vulnerabilidad, requiere que el uso de la tierra, sobre todo bajo condiciones de secano, la implementación de sistemas de producción adaptados a las condiciones de concentración de las lluvias y, por otra parte, los sistemas de manejo deben considerar prácticas conservacionistas que atenúen el efecto de la alta a muy alta agresividad de la precipitación. De otra forma, el riesgo de degradación del suelo sería alto debido a que el mismo presenta alta susceptibilidad a la erosión hídrica (Lozano y otros, 2002), y al hecho de que más del 50 % de las precipitaciones que allí ocurren son calificadas como erosivas (Lobo, 2004).

IV. PROYECCIÓN FUTURA DE LA PRECIPITACIÓN

De acuerdo a los aportes de Rodríguez y otros (2013), el estado Anzoátegui presentó una variación espacio temporal de la precipitación significativa en el periodo entre 1970 y 2000, con precipitaciones anuales que se incrementan y localizan hacia la zona sur de la región. El estudio establece una variación temporal en los montos de precipitación a lo largo de las tres décadas, reflejada en una disminución importante de la precipitación anual (100 a 350 mm) en más del 60 % del área (zona suroeste del estado) y un incremento en más del 35 % del estado (zona noreste).

Se evidencia, en general, un futuro más seco, siendo claramente distinguibles las zonas del país en las cuales

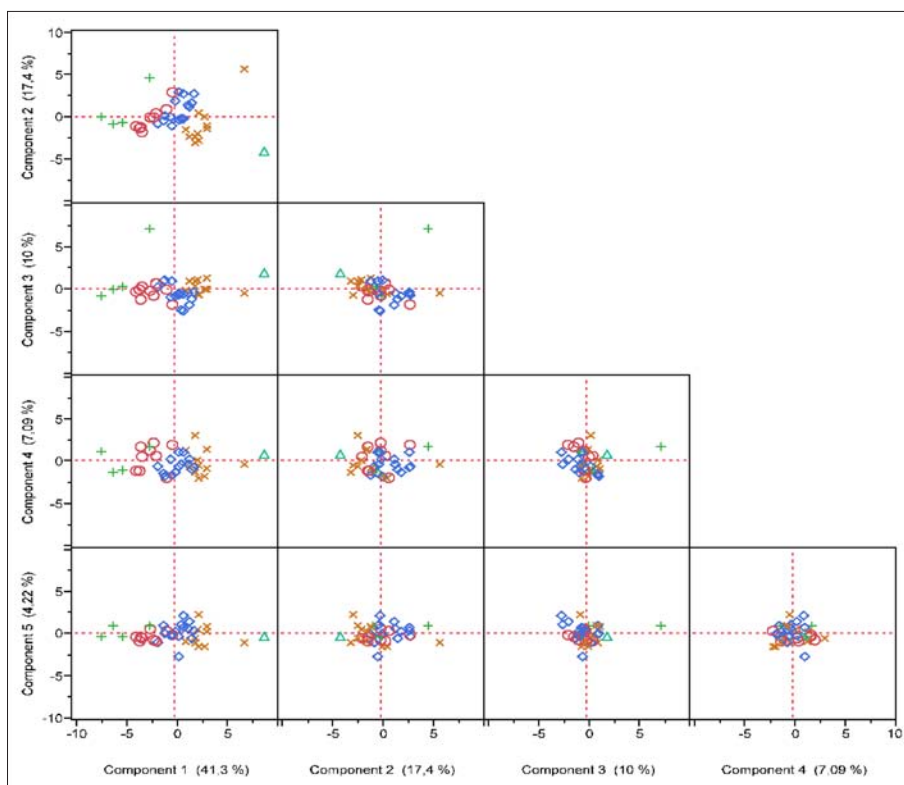


FIG. 10. Representación bivariada de las variables asociadas a los cinco componentes principales.

se produce el mayor impacto sobre las áreas de uso agrícola. En la región nororiental el área afectada por déficit hídrico crecería de 4.600.000 ha a 9.000.000 ha; dentro de esta zona de Anzoátegui, existe un área con un mayor incremento del déficit hídrico que va desde 500.000 ha a 1.300.000 ha (Ovalles y otros, 2008).

De la misma manera, se estima una reducción en el número de meses húmedos lo que limita el uso de cultivos tanto anuales como perennes, dependiendo de la magnitud de la reducción. La distribución de la precipitación se verá afectada, ejemplo de ello es el análisis de la distribución derivada del estudio de Martelo (2004), donde la mayor incidencia es en el mes de mayo, época que corresponde a la preparación de las tierras y siembra de los principales cultivos en la mayoría de las zonas agrícolas; con incidencias también en el mes de agosto, mes que se corresponde con la floración, fructificación y llenado de granos, principalmente de cereales.

V. CONCLUSIONES

Este estudio representa una caracterización del régimen de humedad de la región que pudiera ser utilizado

en la planificación agrícola a largo plazo y para posibles estudios de variabilidad espacial y temporal de la precipitación en los llanos orientales.

La metodología empleada en este estudio puede aplicarse en otros sitios de interés, no sólo para fines de caracterización sino también para otras empresas o entidades de planificación ambiental que se encarguen del manejo del recurso hídrico en los llanos venezolanos. Se estableció una distinción de cinco grupos de estaciones climáticas con patrones de precipitación homogéneas en el estado venezolano analizado, asociadas a las unidades de paisajes características de la región oriental. Tanto la distribución espacial como temporal puede explicarse localmente por los patrones de circulación de masas de aire que se generan entre el valle y las zonas más montañosas.

Tiene interés hacer referencia, en este punto, al estudio desarrollado por Lobo y otros (2010), en el que la zona central de los llanos venezolanos, constituida por la región centro-sur del estado Guárico, occidente del estado Anzoátegui y oriente de los estados Apure y Barinas, presenta unas precipitaciones concentradas con una agresividad muy alta, mientras que el resto de la región presenta una combinación de moderada estacionalidad y

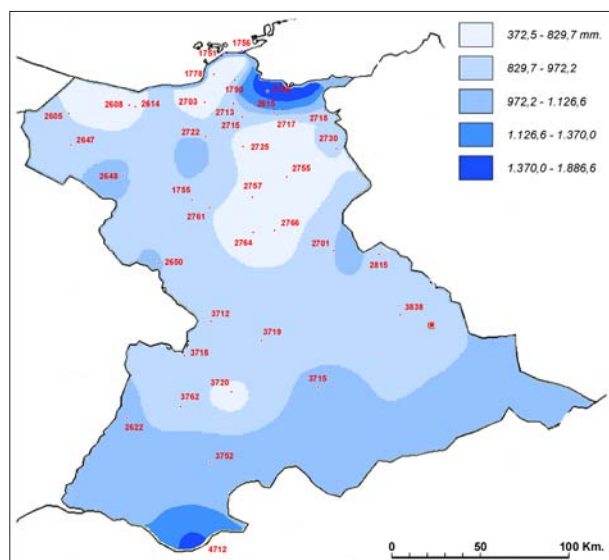


FIG. 11. Promedio de precipitación anual (mm) para el periodo 1970-2000 en el estado Anzoátegui, Venezuela.

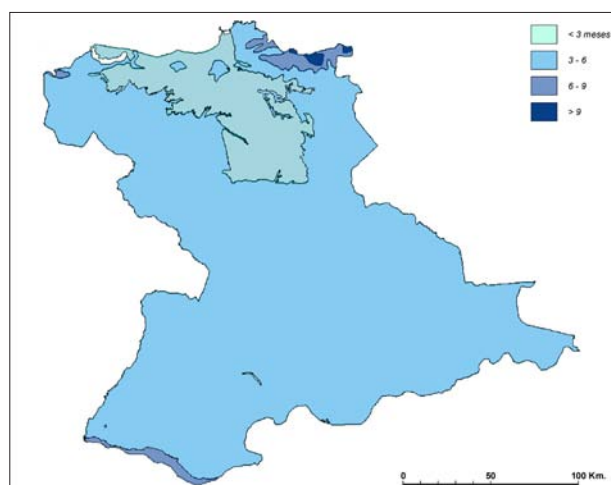


FIG. 12. Número de meses húmedos para el estado Anzoátegui, Venezuela.

alta a muy alta agresividad; de ahí la importancia de establecer este tipo de caracterizaciones, las cuales permitirían aplicar estrategias de manejo de tierras basadas en la conservación de los recursos de agua y suelo.

Finalmente, es conveniente indicar que la cantidad de precipitación registrada temporal y espacialmente, depende de la densidad de la red de estaciones y de la ubicación de las mismas, ya que posiblemente en otros puntos del territorio estudiado puedan registrarse mayores cantidades de precipitación en escalas de tiempo menores a un mes.

VI. BIBLIOGRAFÍA

- CORTÉZ, A., F. OVALLES, M. F. RODRÍGUEZ, J. C. REY y M. C. NÚÑEZ (2005): «Análisis geoestadístico de la variabilidad temporal, a una escala anual y mensual, de parámetros climáticos en un campo experimental, estado Aragua, Venezuela», *Agronomía Trop*, vol. 55, núm. 3, pp. 327-342, disponible en <<http://www.scielo.org.ve/pdf/at/v55n3/art01.pdf>>. [Consulta: 7 de febrero de 2014.]
- DE LUIS, M., M. BRUNETTI, J. C. GONZÁLEZ-HIDALGO, L. A. LONGARES y J. MARTÍN VIDE (2010): «Changes in seasonal precipitation in the Iberian Peninsula during 1946–2005», *Global and Planetary Change*, vol. 74, núm. 1, pp. 27-33.
- DEMEY, J. R., Y. PRADA y L. PLA (1995): «Grupo de estaciones con patrones homogéneos de precipitación del estado Falcón-Venezuela», *Agronomía Trop*, vol. 4, núm. 1, pp. 95-120.
- DEMEY, J. R., y R. PRADERE (1996): «Generación de isohyetas de precipitación al sur del estado Aragua-Venezuela usando kriging con tendencia externa», *Agronomía Trop*, vol. 46, núm. 3, pp. 313-333.
- ESRI (1996): *ArcView GIS The Geographic Information System for Everyone*. Versión 3.2. Producto ID: 825921104087.
- GUENNI, L., E. DEGRYZE y K. ALVARADO (2008): «Análisis de la tendencia y la estacionalidad de la precipitación mensual en Venezuela», *Revista Colombiana de Estadística*, vol. 31, núm. 1, pp. 41-65 [en línea], disponible en <www.scielo.org.co/pdf/rce/v31n1/v31n1a03.pdf>. [Consulta: 7 de febrero de 2015.]
- INE (INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA, VENEZUELA) (2011): Informe Geoambiental del Estado Anzoátegui [en línea], disponible en <<http://www.ine.gov.ve>>. [Consulta: 7 de febrero de 2016.]
- INFOSTAT (2008): Infostat for Windows Version 9.0. Grupo Infostat. Inc. Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- LOBO, D. (2004): «Soil physical properties affecting soil erosion in tropical soils», en D. Gabriels y otros (eds.): *Invited Presentations College on Soil Physics*. Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics (ICTP), Trieste (Italia), vol. 18, pp. 221-243.
- A. CORTÉZ, M. F. RODRÍGUEZ, F. OVALLES, J. C. REY, D. GABRIELS y R. M. PARRA (2010): «Análisis de la agresividad y concentración de las precipitaciones en Venezuela: I. Región de Los Llanos», *Bioagro*, vol. 22, núm. 3, pp. 169-176.

- LOZANO, Z., D. LOBO e I. PLA (2002): «Susceptibilidad a la degradación física de alfisoles de los llanos centrales y occidentales de Venezuela», *Revista Facultad de Agronomía* (UCV), núm. 28, pp. 41-57.
- MARN (MINISTERIO DEL AMBIENTE Y LOS RECURSOS NATURALES DE VENEZUELA) (2005): *Primera Comunicación Nacional en Cambio Climático de Venezuela*. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Fondo Mundial para el Medio Ambiente, Caracas, 135 pp.
- MARTELO, M. T. (2004): *Consecuencias ambientales generales del cambio climático en Venezuela*. Trabajo de ascenso. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía, Maracay (Venezuela), 172 pp.
- (2000): *Estudio sobre la posible influencia del fenómeno El Niño-oscilación del sur (ENOS) sobre el clima de los llanos en Venezuela*. Reunión de expertos de las Asociaciones Regionales AR-III y AR-IV sobre Fenómenos Adversos (111-118). Organización Meteorológica Mundial, Ginebra (Suiza), 254 pp.
- (2003): *Metodología para la selección de modelos de circulación general de la atmósfera y escenarios climáticos a incluir en la Primera Comunicación Nacional en Cambio Climático de Venezuela*. Proyecto MARN-PNUD VEN/00/G31, Dirección de Hidrología y Meteorología, Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales, Caracas (Venezuela), 51 pp.
- MARTÍN VIDE, J. (2011): «Estructura temporal fina y patrones espaciales de la precipitación en la España peninsular». *Memorias de la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona*, núm. 1030 (3.^a época), vol. LXV, núm. 3, pp. 119-162.
- MALLANTS, D., y J. FEYEN (1990): «Defining homogeneous precipitation regions by means of principal component analysis», *Journal of Applied Meteorology*, vol. 29, pp. 892-901.
- MIRÓ, J. J., M.^a J. ESTRELA y J. OLCINA CANTOS (2015): «Statistical downscaling and attribution of air temperature change patterns in the Valencia region (1948-2011)», *Atmospheric Research*, núm. 156, pp. 189-212, <DOI:10.1016/j.atmosres.2015.01.003>.
- MONTILLA, J. J., D. MARÍN y M. BRICEÑO (2003): *Agricultura: Base del progreso*. MES-CNU-OPSU, Caracas, 119 pp.
- OLGUÍN, G., N. HOTAIT y F. SUSTAITA (2011): «Identificación de regiones hidrológicas homogéneas mediante análisis multivariado», *Revista Ingeniería Investigación y Tecnología*, vol. XII, núm. 3, pp. 277-284 [en línea], disponible en <<http://redalyc.uaemex.mx/pdf/404/40420773004.pdf>>. [Consulta: 7 de febrero de 2015.]
- OLIVARES, B., R. PARRA, E. GUEVARA, A. CORTÉZ y M. F. RODRÍGUEZ (2012): «Grupos de estaciones climáticas con patrones homogéneos de precipitación del estado Anzoátegui, Venezuela», *Revista Multiciencias*, vol. 12 (número extraordinario), pp. 11-17.
- OLIVARES, B., A. CORTÉZ, R. PARRA, M. F. RODRÍGUEZ y E. GUEVARA (2013): «Aplicación de procedimientos estadísticos para el control de calidad de las series de precipitación mensual en los llanos orientales venezolanos», *Revista de la Facultad de Agronomía LUZ*, vol. 30, pp. 367-391 [en línea], disponible en <<http://produccioncientificaluz.org/index.php/agronomia/article/view/12596/12583>>. [Consulta: 7 de febrero de 2015.]
- OLIVO, M., E. LETTHERNY, C. PLATT RAMOS y M. SOSA (2001): «Pérdidas de tierra en la costa venezolana debido al incremento del nivel del mar», *Interciencia*, vol. 26, núm. 10, pp. 463-468.
- OVALLES, F., A. CORTÉZ, M. F. RODRÍGUEZ, E. CABRERA, J. C. REY y M. NÚÑEZ (2005): *Aproximación a los escenarios de adaptación al cambio climático del sector agrícola a incluir en la Primera Comunicación Nacional en Cambio Climático de Venezuela*. Proyecto MARN-PNUD VEN/00/G31, INIA, Maracay (Venezuela), 223 pp.
- OVALLES, F., A. CORTÉZ, M. F. RODRÍGUEZ, J. C. REY y E. CABRERA-BISBAL (2008): «Variación geográfica del impacto del cambio climático en el sector agrícola en Venezuela», *Agronomía Trop*, vol. 58, núm. 1, pp. 37-40.
- PABÓN, D. (1997): *Técnicas agrometeorológicas en la agricultura operativa de América Latina*. Paipa, Colombia. Organización Meteorológica Mundial, pp. 99-103.
- PARRA, R., y A. CORTÉZ (2005): «Control de calidad de series de precipitación de las series de precipitación del INIA Venezuela en el periodo 1970-2000», *Revista Argentina de Agrometeorología*, núm. 5-6, pp. 63-73.
- PINEDA, N., E. JAIMES y J. MENDOZA (2006): «Aplicación del índice de homogeneidad múltiple a datos climatológicos de Venezuela», *Interciencia*, vol. 31, núm. 11, pp. 817-821 [en línea], disponible en <<http://redalyc.uaemex.mx/pdf/339/33912210.pdf>>. [Consulta: 7 de febrero de 2015.]
- PLA, L. (1986): *Análisis multivariado: método de componentes principales*. Departamento de asuntos científicos y tecnológicos. Organización de Estados Americanos, Washington, D. C., 97 pp.
- PRADERE, R. (1999): «Definición de patrones homogéneos de pluviosidad en los llanos centrales venezolanos mediante kriging factorial», *Agronomía Trop*, vol. 49, núm. 3, pp. 297-325.

- PUCHE, M., O. SILVA y R. WARCNOK (2004): *Evaluación del efecto del cambio climático sobre cultivos anuales en Venezuela*. UCV-Maracay, 127 pp.
- RODRÍGUEZ, G. R., y C. D. MESSINA (1998): *Impacto del fenómeno «El Niño» en la producción de cultivos en la región pampeana*. Argentina, 16 pp.
- RODRÍGUEZ, M. F., y J. C. REY (2004): *Delimitación de zonas frágiles de Venezuela* (Mimeografiado). INIA-CENIAP, Maracay, 11 pp.
- RODRÍGUEZ, M. F., A. CORTÉZ, B. OLIVARES, J. C. REY, R. PARRA y D. LOBO (2013): «Análisis espacio temporal de la precipitación del estado Anzoátegui y sus alrededores», *Agronomía Trop*, vol. 63, núm. 1-2, pp. 57-65.
- SAS. INSTITUTE INC. (2010): *JMP 9 Modeling and Multivariate Methods*, SAS Institute Inc., Cary, N. C.
- ZAMBRANO, A. Y., J. R. DEMEY y V. GONZÁLEZ (1995): «Grupos homogéneos de crecimiento y manipulación *in vitro* de seis cultivares comerciales de caña de azúcar en Venezuela», *Agronomía Trop*, vol. 45, núm. 1, pp. 51-72.