



## APLICACIÓN DE TÉCNICAS MULTIVARIANTES EN LA APTITUD DE LAS TIERRAS AGRÍCOLAS EN CARABOBO, VENEZUELA †

### [APPLICATION OF MULTIVARIATE TECHNIQUES IN THE AGRICULTURAL LANDS APTITUDE IN CARABOBO, VENEZUELA]

Barlin Orlando Olivares<sup>1\*</sup> and Rafael Ángel Hernández<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Programa de doctorado en ingeniería agraria, alimentaria, forestal y del desarrollo rural sostenible, Universidad de Córdoba (UCO), Av. Medina Azahara, nº 5. Código Postal 14071.España. Email: barlinolivares@gmail.com.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2651-570X>.

<sup>2</sup>Gerencia de Meteorología Aplicada, Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH), Caracas 1080, Miranda, Venezuela.

\*Corresponding author

#### SUMMARY

**Background.** The selection of the best agroclimatic zones is of significant importance for the entity's agricultural, rural and forestry development, mainly because the inhabitants and local actors of the Carabobo state can already count on a study that indicates the places to produce their food. , use them to the maximum and in the best way. **Objective.** Analyze and interpret the suitability of agricultural land in Carabobo through multivariate techniques. **Methodology.** The surface data (Km<sup>2</sup>) were used for the dates of May-August of four strategic crops: corn, onion, tomato and potato. Principal Component Analysis (PCA), using Partial Least Squares Regression Discriminant Analysis (PLSDA) and Hierarchical Cluster Analysis were applied. **Results.** Using the PCA, the two components that accounted for 67.6% of the total variation were selected. This allowed a classification of the municipalities with the largest suitable area of crops according to the sowing date, discriminating with greater incidence the area suitable for maize in the Libertador, Carlos Arvelo, Valencia and Naguanagua municipalities, whose ideal sowing date would be established from May 11-20. **Conclusion.** The multivariate PCA method used represented a tool to describe and characterize the diversity of the areas studied in agriculture in Carabobo, the results of which could be the basis for agricultural development strategies.

**Keywords:** agriculture; biodiversity; climate; statistics; zoning.

#### RESUMEN

**Antecedentes.** La selección de las mejores zonas agroclimáticas es de importancia significativa para el desarrollo agropecuario, rural y forestal de la entidad, debido principalmente a que los habitantes y actores locales del estado Carabobo ya pueden contar con un estudio que les indica los lugares para producir sus alimentos, utilizarlos al máximo y de la mejor manera. **Objetivo.** Analizar e interpretar la aptitud de las tierras agrícolas en Carabobo a través de técnicas multivariantes. **Metodología.** Se utilizaron los datos de superficie (Km<sup>2</sup>) para las fechas de siembra de mayo- agosto de cuatro cultivos estratégicos: maíz, cebolla, tomate y papa. Se aplicó el Análisis de Componentes Principales (ACP), Análisis Discriminante mediante la Regresión de Mínimos Cuadrados Parciales (PLSDA) y el Análisis de Conglomerados Jerárquico. **Resultados.** Mediante el ACP se seleccionaron los primeros dos componentes que explicaban el 67.6 % de la variación total. Esto permitió una clasificación de los municipios con mayor superficie apta de cultivos en función de la fecha de siembra, discriminando con mayor incidencia la superficie apta para maíz de los municipios Libertador, Carlos Arvelo, Valencia y Naguanagua, cuya fecha idónea de siembra se establecería del 11-20 de mayo. **Conclusión.** El método multivariado del ACP empleado representó una herramienta para describir y caracterizar la diversidad de los rubros estudiados en la agricultura de Carabobo cuyos resultados pudieran ser la base para estrategias de desarrollo agrícola.

**Palabras clave:** agricultura; biodiversidad; clima; estadística; zonificación;

#### INTRODUCCIÓN

Desde hace décadas, diferentes instituciones venezolanas han llevado a cabo estudios dirigidos a caracterizar y zonificar sistemas de producción, los cuales no han sido suficientes frente a la dimensión de los requerimientos que tiene el país (INIA, 2016). Existe una ausencia notable de información consolidada acerca de la identificación, caracterización, zonificación y evaluación de los

sistemas de producción agrícola, condición que ha limitado la posibilidad de disponer de una visión actual de las mejores opciones productivas, competitivas y sustentables la cual representa un elemento clave para la orientación y formulación de políticas de planificación e investigación en el medio rural.

En el caso particular de Carabobo, se consideran zonas de mejores condiciones agropecuarias donde se presentan de cuatro y cinco meses de lluvia

† Submitted March 19, 2020 – Accepted May 7, 2020. This work is licensed under a CC-BY 4.0 International License.  
ISSN: 1870-0462.

continua, de éstas, se excluyen las zonas con pendientes abruptas y/o suelos con limitado potencial agrícola (Rodríguez *et al.*, 2013). No obstante, las zonas con tres meses de lluvia continua pueden utilizarse para agricultura solo en casos donde se cuente con sistemas de riego, así como las que se localicen en planicies o piedemonte y presenten suelos de clase I, II y III (Cortez *et al.*, 2018). Por su parte, para las superficies con bajo potencial productivo, se recomienda emprender acciones para su recuperación y destinarlas a la conservación natural.

En este sentido, para caracterizar y comprender de manera directa la estructura y correlaciones existentes entre las variables que definen los sistemas de producción agrícola es posible emplear análisis multivariados como el método de Análisis de Componentes Principales (Cuadras, 1992; Demey *et al.*, 1994). Desde hace varias décadas, en Venezuela, el método tiene aplicación en diversas áreas relacionadas al diagnóstico y predicción en los agroecosistemas así como otros aspectos como la delimitación de patrones de precipitación (Olivares *et al.*, 2012; Vicario *et al.*, 2015), estudios de suelos con vocación agrícola (Olivares, 2016; Villazón *et al.*, 2017); Así mismo se han empleado los ACP en la definición de indicadores de suelo de comunidades rurales (Córdoba *et al.*, 2013), así como en la clasificación de sistemas de producción agrícola (Olivares *et al.*, 2016); entre otras aplicaciones.

El Análisis de Componentes Principales (ACP) es aplicado cuando se desea conocer la relación entre los elementos de una población y se sospecha que en dicha relación influye de manera desconocida un conjunto de variables o propiedades de los elementos (Pla, 1986). Por lo expuesto anteriormente, el objetivo de este estudio fue analizar e interpretar la aptitud de las tierras en el estado Carabobo considerando cuatro tipos de cultivos estratégicos, en función de los meses más idóneos para la siembra a través del uso del método de ACP y otras técnicas multivariantes tales como, el Análisis Discriminante mediante la regresión de Mínimos Cuadrados Parciales (PLSDA) y el análisis de conglomerados jerárquico, determinando así las relaciones entre las variables asociadas a los cultivos y las condiciones agroecológicas de la zona de estudio. Los resultados obtenidos corroboran la empleabilidad de una herramienta ágil que facilita la toma de decisiones relacionadas con el aprovechamiento óptimo de las potencialidades productivas del territorio; así como favorece las acciones de generación tecnológica, capacitación y asistencia técnica, en las diferentes zonas agrícolas ubicadas en el estado Carabobo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Descripción del área de estudio

El estado Carabobo está localizado en la zona centro-norte de Venezuela, entre las coordenadas geográficas 09°48' y 10°35' de LN con 67°31' y 68°26' de LO. Está constituido por catorce municipios, posee una superficie de 4,651 Km<sup>2</sup>, solo el 42.53% (1,973 Km<sup>2</sup>) es considerado potencial para la actividad agrícola (Hernández *et al.*, 2017).

La precipitación promedio anual en Carabobo es de 1.100 mm, con máximos valores entre 1.300 y 1.500 mm en los municipios Libertador y Carlos Arvelo, al sur, en la Región Natural Serranía. Por otra parte, en la Región Natural de la Depresión del Lago de Valencia conformada por Montañas bajas, Colinas y Valles, se registran entre 1.000 y 1.300 mm de precipitación y el agua se drena por el relieve de Planicie Aluvial y la Llanura Lacustrina (Olivares, 2018). Los mínimos valores de precipitación anual se presentan entre 750 y 900 mm, se localizan en la Vertiente norte de la Región Natural de la Serranía del Litoral, hacia el Mar Caribe. Con relación a la temperatura media del aire, los valores más altos se registran hacia el Litoral del estado Carabobo con media anual de 26.0 °C, máxima media de 32.0 °C y mínima media de 24.0 °C. Así mismo, la evaporación total anual oscila entre 1.000 y 2.600 mm.

Según Olivares *et al.* (2018c), en el estado Carabobo se presentan los siguientes tipos climáticos:

- Semiárido (D) con una superficie aproximada de 651 Km<sup>2</sup>; se extiende sobre los municipios Juan José Mora y Puerto Cabello en la Región Natural de la Serranía del Litoral hasta aproximadamente los 1.100 msnm. Las precipitaciones anuales alcanzan valores inferiores a 750 mm.
- Subhúmedo Seco (C1) que abarca una superficie aproximada de 2791,15 Km<sup>2</sup>; se extiende sobre los municipios Miranda, Montalbán, Bejuma, Naguanagua, Los Guayos, San Diego, Guácara, San Joaquín y Diego Ibarra; así como el extremo norte de los municipios Libertador, Valencia, Carlos Arvelo; y extremo sur de los municipios Juan José de Mora y Puerto Cabello. Las precipitaciones anuales oscilan entre los 920-1.060 mm.
- Subhúmedo Húmedo (C2) emplazado sobre una superficie aproximada de 883.86 Km<sup>2</sup> equivalentes a un 19% de la totalidad de la entidad; se extiende sobre el área más septentrional del municipio Valencia y meridional del municipio Libertador, así como el suroeste del municipio Carlos Arvelo, donde se encuentran las áreas agrícolas más extensas y de mayor potencial del estado Carabobo. Las

precipitaciones anuales oscilan en torno a los 1.290 mm.

- Ligeramente Húmedo (B1) que ocupa una superficie aproximada de 325.63 Km<sup>2</sup> lo que equivalen a un 7% de la totalidad de la entidad y se extiende al extremo sur del municipio Valencia hacia los límites con el estado Cojedes. Las precipitaciones anuales están sobre los 1.540 mm.

La capacidad agrológica que posee el estado Carabobo varía desde los suelos Clase I hasta los suelos Clase VIII, abarcando una superficie total de 5241,3 Km<sup>2</sup>. Los suelos aptos para cultivos abarcan 1.037 Km<sup>2</sup>, estos corresponden a las Clases I-IV y la Clase VII, esta área es la que ocupa una mayor superficie en la entidad (3511,95 Km<sup>2</sup>) destinada para vegetación permanente. La Clase VIII tiene una menor representación en superficies y se consideran como no aptas para la agricultura, la ganadería o algún tipo de explotación forestal (Mogollón y Comerma, 1994).

#### Aptitud agrícola de las tierras

La metodología para la obtención de superficie apta de los cultivos se describe con mayor énfasis en el estudio desarrollado por Olivares y Hernández (2019) en Carabobo, Venezuela. De acuerdo con Olivares *et al.* (2018a), la adaptabilidad de los cultivos al clima del área se determinó sobre la base de los requerimientos hídricos (ETa, Evapotranspiración real del cultivo), mediante la relación entre la disminución del rendimiento relativo y el déficit hídrico dado por el factor Ky del balance hídrico. Así mismo, se establecieron mediante un sistema de pesos la idoneidad con que la oferta edáfica del área satisface los requerimientos de los cultivos elaborando así una clasificación interpretada por el grado de aptitud.

La obtención y análisis de espacialización de las fechas de inicio, duración y láminas de agua acumulada por precipitación para los períodos de crecimiento y húmedo, para niveles de probabilidad de ocurrencia de 50% y 75% se desarrolló mediante la metodología de Franquín (1983), considerando los límites administrativos y los físicos naturales, información útil para la reducción de la incertidumbre de las actividades agrícolas a la pre-siembra, y las fases fenológicas de los cultivos relacionadas a sus requerimientos hídricos durante la post-siembra, que incluye la cosecha.

Se utilizaron datos de la superficie apta de los cultivos a nivel decadiario; es decir, acumulados cada diez días (1-10; 11-20; 21-30/31). A través del balance hídrico se determinó una fecha de siembra acorde a una probabilidad de ocurrencia de 50% cuyo valor estuvo cercano a la mediana (FAO, 2012). Los cultivos priorizados en este estudio fueron: Maíz (*Zea mays* L.), Cebolla (*Allium cepa*

L.), Papa (*Solanum tuberosum* L.) y Tomate (*Solanum lycopersicum* L.); estos cultivos se consideraron como relevantes para el desarrollo agrícola del estado de Carabobo, según lo descrito por el Plan de la Nación (2013-2019).

#### Técnicas multivariantes

##### Análisis de Componentes Principales

El Análisis de Componentes Principales (ACP) es un método no supervisado, su objetivo es encontrar las direcciones que mejor explican la varianza en un conjunto de datos ( $X$ ), sin hacer referencia a las etiquetas de clase ( $Y$ ). Los datos se resumen en menos variables llamadas puntajes que son promedio ponderado de las variables originales y, a los perfiles de ponderación se les denominan cargas (Cuadras y Fortiana, 2000).

La matriz de datos  $X$  estuvo 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  $X$ , es la matriz de datos formada por "n" observaciones con "p" variables (14 municipios x 16 variables) (ecuación 1).

$$X = (x_{(ij)}) = \begin{bmatrix} x_{(i1)} & \dots & x_{(ip)} \\ \vdots & x_{(ij)} & \vdots \\ x_{(n1)} & \dots & x_{(np)} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Los municipios corresponden a: Diego Ibarra, San Joaquín, Guacara, San Diego, Naguanagua, Los Guayos, Puerto Cabello, Juan José Mora, Miranda, Montalbán, Bejuma, Libertador, Valencia y Carlos Arvelo. Las variables estudiadas fueron la superficie apta (Km<sup>2</sup>) de los cuatro cultivos: Maíz, Cebolla, Tomate y Papa durante los cuatro períodos decadiarios de Mayo, Junio, julio y agosto.

El análisis de ACP se realizó utilizando el paquete *prcomp* del software estadístico R versión 3.6.0 (R Core Team, 2015), siendo los lineamientos de Xia *et al.* (2009), Chong, y Xia (2018) esto para la generación de los valores propios y proporción de la varianza explicada; la proporción de la variación original explicada por cada componente principal de la matriz de correlación y los gráficos biplot entre el primer y segundo componente principal.

En este contexto, los dos primeros componentes principales (CP) sintetizan el mayor porcentaje de la variación total, es decir, estos dos vectores concentraron la mayor cantidad de criterios de clasificación debido a las variables originales. Así mismo, esto permitiría clasificar a los individuos mediante un gráfico donde se cruzan los valores de los dos primeros CP y se determinan los valores específicos que adopte cada individuo en particular. El número de Componentes Principales se determinó al considerar el criterio de Kaiser, este incluyó sólo aquellos con valores propios que eran superiores al promedio (Pla, 1986).

## Regresión de mínimos cuadrados parciales

La regresión de mínimos cuadrados parciales de análisis discriminante (PLS-DA), es un método supervisado que utiliza técnicas de regresión multivariante para extraer a través de la combinación lineal de variables originales (X), la información que puede predecir es la pertenencia a la clase (Y). La regresión PLS se realizó utilizando la función *pls* proporcionada por el paquete *pls* de R (Mevik y Wehrens, 2007). La clasificación y la validación cruzada se llevan a cabo utilizando la función de envoltura correspondiente que ofrece el paquete *caret* (Kuhn, 2008).

## Análisis de conglomerados jerárquico

Posteriormente, se aplicó el análisis de conglomerados jerárquico, donde cada muestra comienza como un conglomerado separado y el algoritmo procede a combinarlas hasta que todas las muestras pertenecen a un conglomerado. La agrupación jerárquica se realizó considerando dos parámetros, el primero es la medida de similitud o distancia euclidiana y el otro parámetro es el algoritmo de agrupamiento, estos incluyen el enlace de Ward (agrupación para minimizar la suma de cuadrados de cualquiera de los dos grupos). La agrupación jerárquica se realiza con la función *hclust* en el paquete *stat* de R, y se consideraron los protocolos descritos por Chong, Wishart y Xia (2019).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Estadística descriptiva

La Tabla 1 muestra la estadística descriptiva de la superficie apta para los diferentes cultivos bajo estudio en función de las fechas de siembra; los valores promedio están asociados al mes de mayo, a excepción del tomate con valores de superficie apta que se posicionan en julio. Por su parte, para el caso del cultivo de papa, durante el mes de agosto no se obtuvieron datos de superficie apta. La ejecución de la siembra en diferentes municipios del estado Carabobo no sería factible, debido a varios factores, entre ellos, la no disponibilidad de humedad suficiente en el suelo para sembrar, es decir, existen zonas donde los déficit hídricos a lo largo del ciclo vegetativo pueden ser de tal magnitud que el rendimiento esperado será muy bajo y en ciertos casos a cero, caso contrario, el de territorios donde se generen abundantes lluvias, las condiciones de humedad en el suelo a lo largo del ciclo vegetativo son tales que hacen imposible la entrada de maquinaria al campo.

La metodología utilizada para caracterizar las zonas aptas puede contribuir con resultados favorables, por lo tanto, se considera que las zonas con precipitaciones suficientes y bien distribuidas, son las que permitirían satisfacer la demanda hídrica de

los cultivos tanto en las fases de crecimiento y la crítica, donde se mantiene el suelo con humedad inicial para la germinación y el establecimiento del cultivo, con capacidad de campo durante la fase de floración y fructificación, fase donde los cultivos demandan mayor cantidad de agua, y un agotamiento de ésta en el suelo para la cosecha (Lobo *et al.*, 2010).

**Tabla 1. Estadística descriptiva de la superficie apta (Km<sup>2</sup>) de los principales cultivos y fechas de siembra en Carabobo, Venezuela.**

Cultivo	Fecha de siembra	Media	D.E.	CV (%)
Maíz	Mayo <sup>a</sup>	38.22	52.64	137.73
	Junio <sup>b</sup>	9.31	20.93	224.83
	Julio <sup>c</sup>	18.90	28.39	150.20
Cebolla	Agosto <sup>d</sup>	16.04	27.57	171.91
	Mayo <sup>a</sup>	28.79	48.39	168.12
	Junio <sup>b</sup>	18.79	29.69	158.07
	Julio <sup>c</sup>	18.50	22.43	121.25
Tomate	Agosto <sup>d</sup>	16.29	22.66	139.12
	Mayo <sup>a</sup>	12.43	26.01	209.24
	Junio <sup>b</sup>	7.43	15.52	208.86
Papa	Julio <sup>c</sup>	17.11	16.75	97.93
	Agosto <sup>d</sup>	10.74	14.39	133.99
Papa	Mayo <sup>a</sup>	24.07	47.19	196.05
	Junio <sup>b</sup>	5.86	8.80	150.17
	Julio <sup>c</sup>	15.86	15.86	99.99

Nota: Numero de orden de los periodos decadiarios <sup>a</sup> (1, 2, 3 periodos decadiarios); <sup>b</sup> (4,5,6 periodos decadiarios); <sup>c</sup> (7,8,9 periodos decadiarios) <sup>d</sup> (10,11,12 periodos decadiarios).

### Análisis de Componentes Principales

La interpretación de las nuevas variables transformadas denominadas CP representan la parte más importante debido a que estas variables ya no tienen el mismo significado de las originales, lo que se significa que cada componente es el resultado de una combinación lineal de las variables en donde cada una posee una ponderación distinta, en proporción a las magnitudes de cada elemento que conforma el autovector respectivo. Por ende, el significado de cada CP dependerá de la magnitud de tales ponderaciones y del signo asignándole sentido lógico y práctico desde un punto de vista técnico. La figura 1 presenta el gráfico de puntaje por pares, el cual proporciona una visión general de los diversos patrones de separación entre las CP más importantes del estudio.

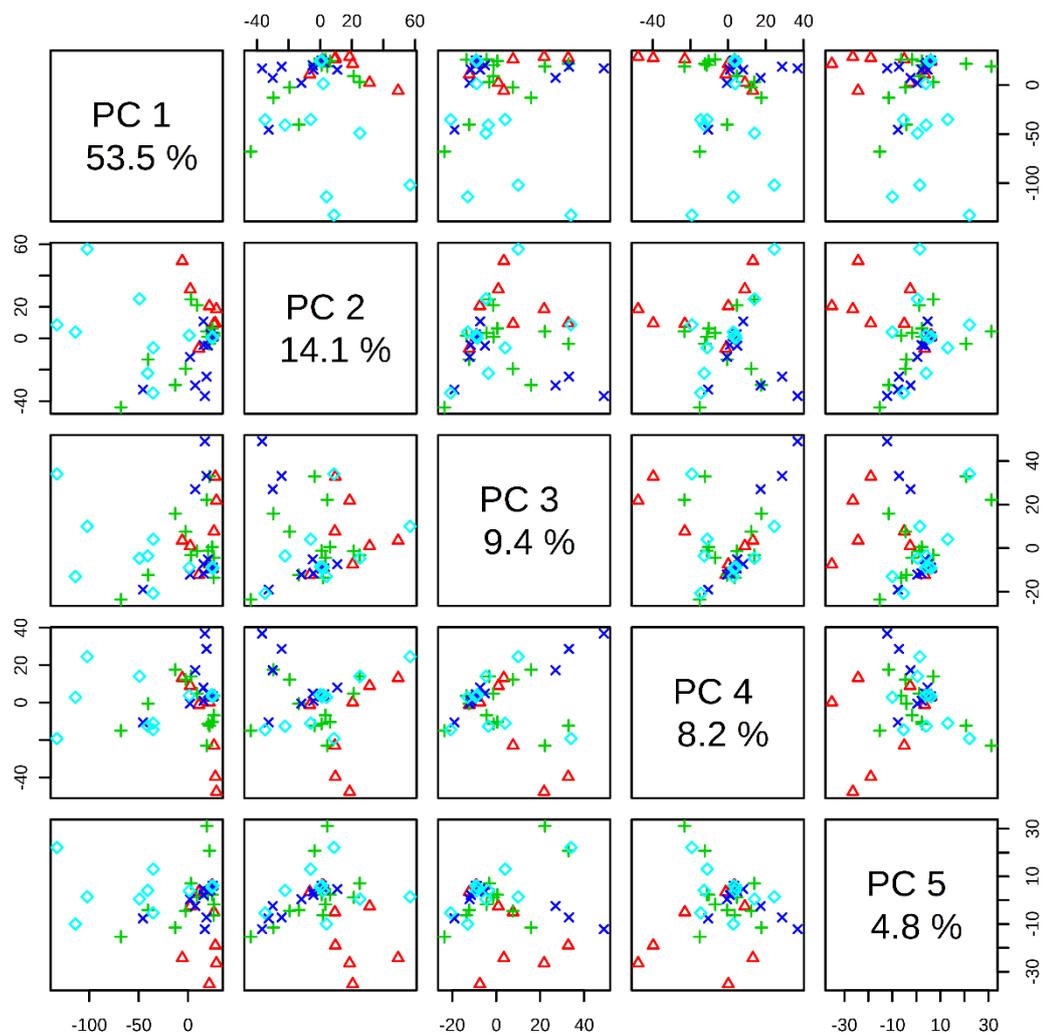
Se seleccionaron los dos primeros componentes principales de acuerdo con el criterio de Pla (1986), los cuales explican el 67.6 % de la variación, el cual constituye una proporción significativa del total ( $\geq 65$  %), ya que se pierde 32.4 % de la varianza. El agrupamiento de los *scores* (cargas), arroja los cuatro grupos de fechas de siembra (mayo a agosto)

diferenciadas en la figura 2. Las combinaciones lineales representan la selección de un nuevo sistema de coordenadas obtenidos por la rotación del sistema de coordenadas original. Según Balzarini *et al.* (2015) los nuevos ejes representan las direcciones con máxima variabilidad y proveen una forma más simple y parsimoniosa para describir la estructura de covarianza. Esta nueva base para representar los datos satisface que el primer eje se encuentra en la dirección de máxima varianza (la primera componente es la combinación lineal de máxima varianza) y los ejes subsecuentes maximizan la varianza explicada dado que son ortogonales a los ejes previos.

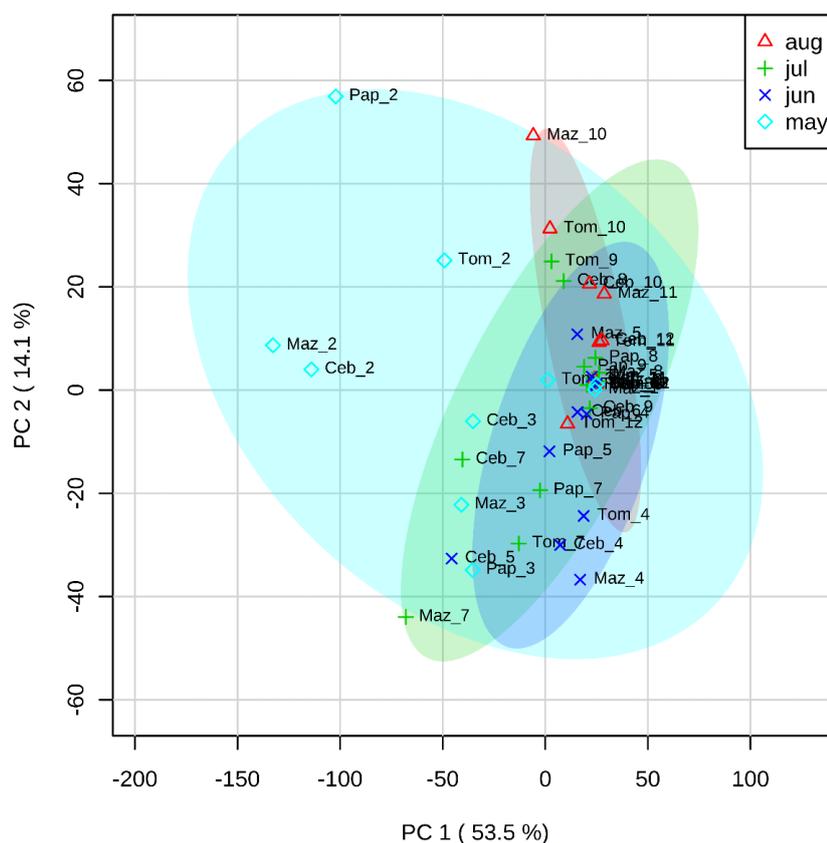
### Primer Componente

El primer componente es el que tiene la varianza más alta y por lo tanto la mayor capacidad explicativa de los datos. En este caso alcanza el 53.5% del total. La Figura 3a permite visualizar simultáneamente las observaciones y las variables del archivo de datos.

En este caso, las longitudes de los vectores son proporcionales a las varianzas de las variables. En síntesis, las variables orientadas hacia la derecha tendrán altos valores en los casos orientados en la misma dirección y las variables orientadas hacia la izquierda tendrán altos valores en los casos orientados hacia la izquierda. Se observan en la figura 3b los valores negativos en proporciones más o menos análogas de las superficies aptas de maíz, cebolla y papa con fecha de siembra estimada en la segunda década de mayo en los municipios Libertador (-0.71) y Carlos Arvelo (-0.61). Las condiciones edafoclimáticas analizadas para la zonificación de maíz en el municipio Libertador son aptas para el cultivo en 269.6 km<sup>2</sup> (26.960 ha), y su fecha de siembra estimada es en la segunda década de Mayo hacia el centro y norte de la localidad de Campo de Carabobo, mientras que hacia el este y sureste del municipio la fecha más idónea se establece durante la primera década de Julio y la segunda del mes de Agosto, para la obtención de rendimientos entre 95 y 100%.



**Figura 1.** Gráficos de puntuación por pares entre los CP seleccionados. La varianza explicada de cada CP se muestra en la celda diagonal correspondiente.



**Figura 2.** Gráfico de pesos entre el CP1 y CP2, las variaciones explicadas se muestran entre paréntesis. (Abreviaturas Maz: Maíz; Ceb: Cebolla, Tom: Tomate; Pap: Papa). Los números son el orden de los periodos decadiarios: mayo (1, 2, 3 periodos decadiarios); junio (4,5,6 periodos decadiarios); julio (7,8,9 periodos decadiarios) y agosto (10,11,12 periodos decadiarios)).

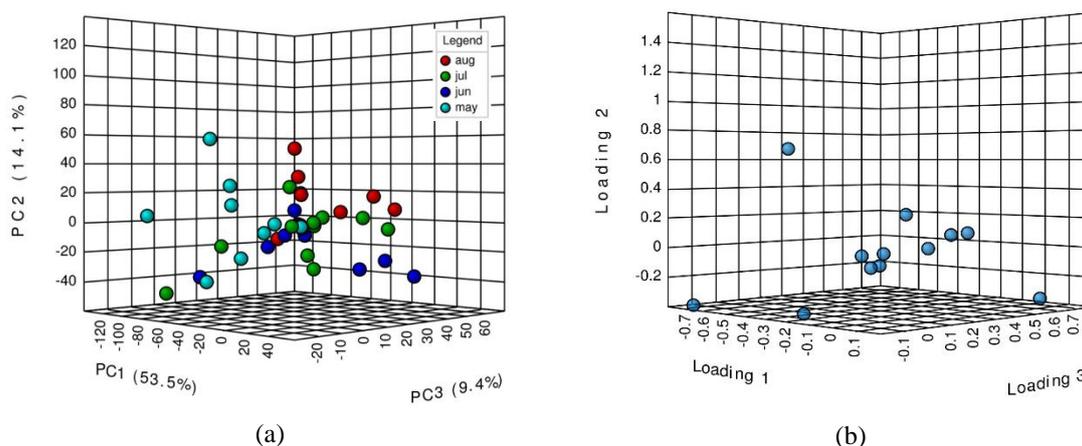
La superficie cultivable del municipio Libertador se caracteriza por presentar tres tipos de paisaje: zonas bajas de montañas; colinas y valles de la Depresión del Lago de Valencia; y por la Serranía del Litoral y del Interior, a pesar de ello, son áreas en donde las pendientes del terreno no superan el 5% de inclinación, los suelos son de texturas medias y moderadamente drenados (Olivares *et al.*, 2018b), por lo que 277.0 km<sup>2</sup> (27.700 ha) de estos suelos se consideran aptos para el cultivo de cebolla, con fecha de siembra estimada para la segunda década de Mayo en el noreste y oeste de la localidad de Tocuyito, mientras que hacia el noroeste, la fecha de siembra se estimó en algunas zonas entre la primera década de Junio y la tercera de Agosto.

La extensión superficial de los suelos aptos para el cultivo de papa en el municipio Libertador es de aproximadamente 182.1 km<sup>2</sup> (18.210 ha), por lo que se considera el municipio con mayor extensión de tierras aptas para este rubro en la entidad. Según Olivares y Hernández (2019), las precipitaciones medias anuales van desde 1.500 mm en el sur, hasta 1.000 mm en la zona norte.

Con respecto a las tierras en el municipio Carlos Arvelo, solo 208.1 km<sup>2</sup> (20.810 ha) son aptas para el cultivo de maíz, ya que la disponibilidad hídrica y las condiciones edáficas de la zona, permiten el

desarrollo del cultivo durante su fase crítica de 60 días de duración (Olivares *et al.*, 2018a), la fecha de siembra estimada para la segunda década de Mayo únicamente se ubica principalmente en el centro del municipio, mientras que existen otras áreas adyacentes a laderas de las montañas con fecha de siembra de la segunda década del mes de Junio.

En el municipio Carlos Arvelo, se contabilizaron 211.0 km<sup>2</sup> (21.100 ha) aptas para el cultivo de la cebolla, éstos se encuentran en áreas de valles y zonas bajas de colinas, caracterizadas por pendientes bajas, suelos de textura franca y disponibilidad hídrica durante la fase crítica del cultivo (60 días) superior a la ETa, condiciones que se traducen en rendimientos máximos del 100%. Las fechas de siembra para los suelos aptos del municipio, se estimaron para la segunda década de Mayo en los valles del sur y este. Con respecto, al cultivo de la papa, en aproximadamente 150.0 km<sup>2</sup> (15.000 ha) se estimaron fechas de siembra entre la segunda década de Mayo y la primera década de Junio, con posibilidades de obtener rendimientos durante la cosecha de 90 a 95%, ya que corresponden a zonas aptas para el cultivo, por sus condiciones edafoclimáticas y que la disponibilidad hídrica para la fase crítica del rubro, esta se estableció entre 315 y 275 mm.



**Figura 3.** Representación tridimensional de los primeros componentes principales. (a) gráfico 3D de los pesos entre los CP seleccionados. (b) gráfico 3D de las combinaciones lineales de las variables en los CP.

### Segundo Componente

El segundo componente explica un 14.1% de la variabilidad total. Está referido a las tierras aptas para el cultivo de maíz, cebolla y tomate principalmente en los municipios Valencia (-0.39) y Naguanagua (-0.37) (Figura 3a). En este sentido, las tierras con potencial agrícola del municipio Valencia presentan tipos de paisaje de valles en el centro, montañas y colinas hacia el norte, oeste y sur, con lluvias medias anuales entre 1.000 y 1.300 mm. En esta zona se contabilizaron 101 km<sup>2</sup> (10.100 ha) de superficie apta para el cultivo de maíz; hacia el norte existen tierras aptas para la siembra entre la segunda década de Mayo y la tercera de Junio.

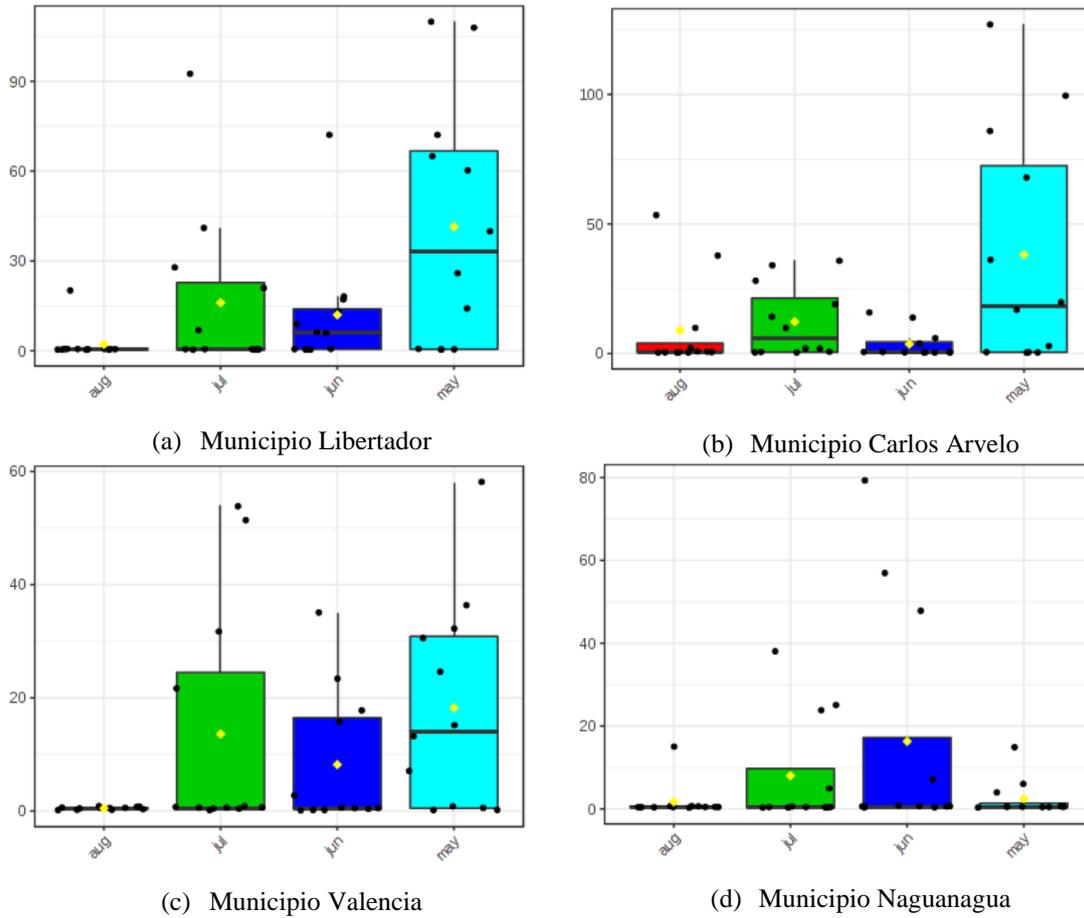
Por otra parte, aproximadamente 60.0 km<sup>2</sup> (6.000 ha) del municipio son aptas para el cultivo de tomate, cuyas fechas de siembra se estimaron para la segunda década de Mayo en el centro y sureste, y durante la tercera década de Mayo hacia el sur de la ciudad de Valencia. El resto de las tierras aptas para el cultivo de tomate, se estimaron con fecha de siembra entre la primera década de Julio y la primera de Agosto para obtener rendimientos entre 95 y 100%.

Las fechas de siembra varían latitudinalmente; en el sur del municipio existen sectores de tierras agrícolas aptas para cebolla, con fecha estimada para la primera década de Mayo únicamente, hacia el norte, las fechas estimadas van desde la tercera década de Mayo hasta la segunda de Junio, otros sectores del sur tienen fecha única para la segunda década de Junio.

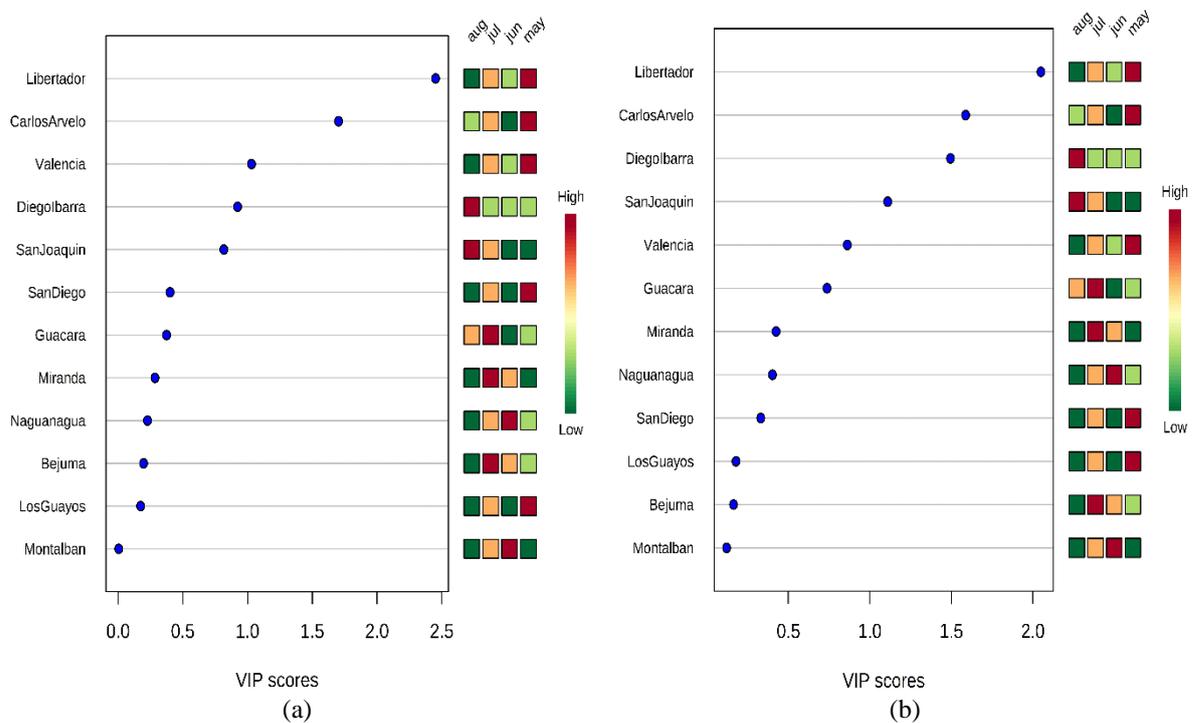
Con relación al municipio Naguanagua, este presenta la tercera extensión superficial más grande de suelos moderadamente aptos para el cultivo de maíz, con un total de 100.2 km<sup>2</sup> (10.020 ha), la mayor parte de estos suelos se ubican en el área centro norte, con una fecha de siembra estimada para el 98% de la superficie en la primera década de Junio, considerando que después de estos 10 días, las probabilidades de obtener rendimientos entre 90 y 95% son nulas, debido a que la disponibilidad de agua disminuye, afectando la fase inicial del crecimiento del cultivo.

De acuerdo con los resultados, la fecha de siembra tentativa es exclusivamente durante la tercera década de Junio para el tomate en Naguanagua. Se evidencia el predominio de los suelos aptos para el cultivo de tomate, los cuales abarcan alrededor de 96.2 km<sup>2</sup> (9.620 ha) en el municipio. La figura 4 muestra los gráficos de cajas para los principales municipios con altas proporciones de tierras aptas de los cultivos bajo estudio. La época de siembra idónea se ubica en la segunda década de mayo en la mayoría de los municipios, excepto Naguanagua.

El déficit hídrico que se manifiesta en la zona de estudio posterior a septiembre según reportes de Paredes-Trejo y Olivares (2018) afectaría negativamente el número de frutos por unidad de superficie durante el período de maduración de frutos. En la fase de crecimiento y maduración del fruto, niveles hídricos insuficientes provocan una reducción del peso unitario del fruto, disminuyendo por estas dos vías la productividad por superficie del cultivo (Mitchell *et al.*, 1991).



**Figura 4.** Gráficos de cajas de los principales municipios con mayor superficie total apta para los cultivos bajo estudio en función a la fecha de siembra.



**Figura 5.** Características importantes identificadas por PLS-DA en el CP1 (a) y CP2 (b).

## Regresión de mínimos cuadrados parciales

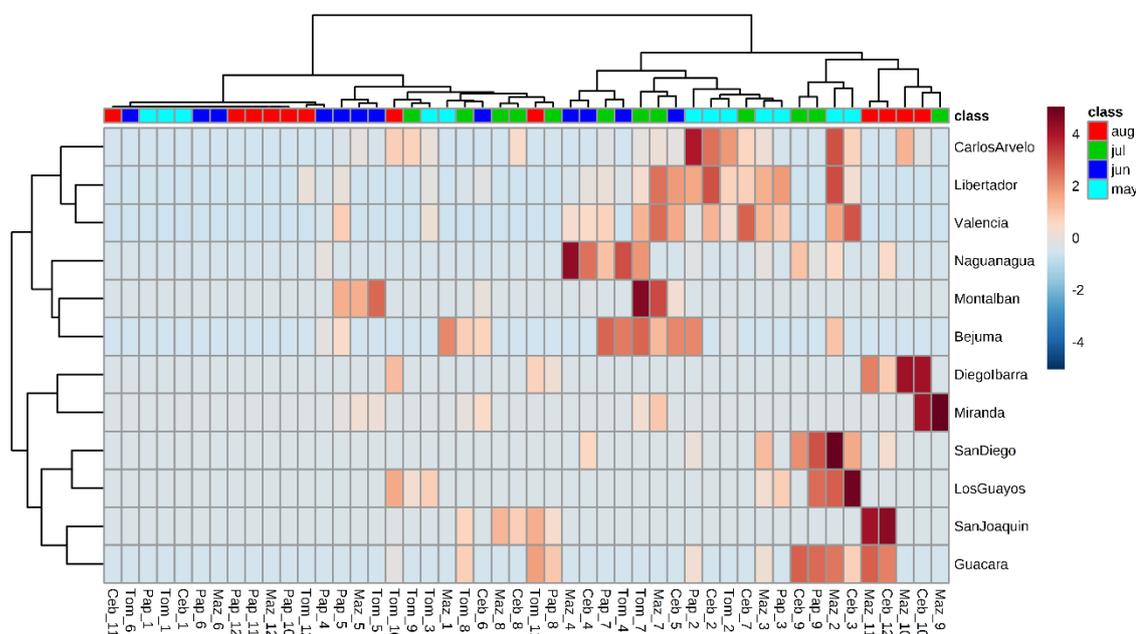
El análisis multivariado comprende un conjunto de algoritmos que permiten el análisis de conjuntos complejos de datos, por lo que estas técnicas se han utilizado para investigar qué características agroecológicas del territorio son importantes para describir el comportamiento de los cultivos. Según Salman y Abu Ruka'h (1999) el enfoque no supervisado planteado en este estudio permitió la reducción de la descripción del parámetro  $n$ -dimensional de cada variable a dos dimensiones para fines de visualización. La Figura 5 muestra la Importancia de la Variable para la Proyección (VIP), los cuadros de colores a la derecha indican las proporciones relativas de la variable correspondiente en cada grupo en estudio.

Se considera que este trabajo puede contribuir al establecimiento de bases teórico-conceptuales para el manejo de cultivos en función de las condiciones físico-naturales del estado Carabobo, es decir para la zonificación de las superficies agrícolas. La información sobre esta temática es escasa en el país, pero es requerida por los productores, comunidades campesinas, empresarios, bancos y seguros agrícolas, así como, por instituciones públicas, privadas para futuros trabajos e investigaciones. La información edafoclimática generada es útil en licitaciones, estudios bancarios y seguros agrícolas,

así como para el establecimiento de pólizas a futuro de la producción agrícola en el estado Carabobo.

## Análisis de conglomerados jerárquico

A partir de las superficies aptas por fecha de siembra como unidades iniciales se formaron grupos, de forma ascendente, hasta que al final del proceso todos los casos tratados estuvieron englobados en un mismo conglomerado. La figura 6 muestra el resultado de la agrupación en forma de dendrograma. El mapa de calor proporciona una visualización intuitiva de los datos utilizados, cada celda de color en el mapa corresponde a un valor de concentración en la tabla de datos, con los municipios en las filas y las fechas de siembra para los cultivos bajo estudio. A través de la figura 6 se observan las altas proporciones de superficie apta se ubican en Carlos Arvelo durante el mes de mayo para el cultivo de papa, en Naguanagua predominan las superficies aptas de Maíz cuya fecha de siembra optima corresponde con junio; en Montalbán las superficies aptas para el tomate suelen concentrarse en julio mientras que para los municipios Diego Ibarra y Miranda las superficies aptas de cebolla son mayores en el mes de agosto. Por último, San Joaquín presenta altas proporciones de superficie apta de cebolla y maíz cuya fecha de siembra optima corresponde al mes de agosto.



**Figura 6.** Resultado de agrupamiento mostrado como mapa de calor (medida de distancia usando euclidiana, y algoritmo de agrupamiento usando ward.D). (Abreviaturas Maz: Maíz; Ceb: Cebolla, Tom: Tomate; Pap: Papa). Los números son el orden de los periodos decadiarios: mayo (1, 2, 3 periodos decadiarios); junio (4,5,6 periodos decadiarios); julio (7,8,9 periodos decadiarios) y agosto (10,11,12 periodos decadiarios)).

Cabe destacar que, en la entidad las fechas de siembra se estimaron desde el principio del mes de Mayo hasta finales de Agosto, lo que representa aproximadamente cuatro meses para desarrollar diferentes actividades agrícolas, considerando las restricciones y posibilidades de los suelos. Estas fechas coinciden con el establecimiento de la temporada lluviosa en el estado durante años climáticamente “normales”, es decir, temporadas que no son afectadas por fenómenos climáticos adversos para la agricultura, como lo son: “El Niño-ENSO” y “La Niña-ENSO” (Paredes *et al.*, 2016); eventos que en los últimos años han afectado en diversas situaciones el territorio nacional (Cortez *et al.*, 2016). Así mismo, para una mayor aplicación, estos fundamentos podrían complementar los enfoques socioeconómicos y contribuir al desarrollo de escenarios para tierras sostenibles (Kühling *et al.*, 2016).

### CONCLUSIONES

El uso del análisis de componentes principales permitió la descripción de los municipios con superficies de tierras aptas para los cultivos estudiados, se encontraron correlaciones y similitudes entre diferentes fechas de siembra. Por su parte, el método empleado permitió la determinación de las probables fechas de siembra en algunas tierras agrícolas de Carabobo.

Las condiciones agroclimáticas favorables parecen preferibles a las tierras de cultivo abandonadas o la expansión de tierras cultivables en los municipios Libertador, Carlos Arvelo, Valencia y Naguanagua. Sin embargo, es preciso considerar que la manera de intensificación de las tierras potencialmente aptas en Carabobo debe ser sostenible, especialmente en respuesta al cambio climático.

Los resultados evidencian que se requiere una estrategia diferente para la gestión sostenible de la tierra, para determinar el aprovechamiento que deben realizar en el futuro los productores, en las superficies de potencial agrícola del estado de Carabobo, finalmente se destaca que el enfoque descrito tiene la posibilidad de ser fácilmente transferible a otras regiones de Venezuela.

### Agradecimientos

Los autores agradecen el valioso apoyo técnico de los geógrafos: Alexander Arias, Juan Carlos Molina y Yessica Pereira del INAMEH, así como a los investigadores del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas: Adriana Cortez, Juan Carlos Rey y María Fernanda Rodríguez.

**Financiamiento.** Los autores agradecen el apoyo financiero de la Secretaría de Seguridad Alimentaria y Desarrollo Agrario de la Gobernación del estado Carabobo, Venezuela

**Conflicto de interés.** Los autores declaran que no existe conflicto de intereses relacionados con esta publicación.

**Cumplimientos de normas éticas.** La investigación fue realizada y presentada por los autores bajo principios éticos y responsabilidad científica en el manejo de los datos.

**Disponibilidad de datos.** Los datos están disponibles con el autor Barlin Orlando Olivares (barlinolivares@gmail.com) por correspondencia, con previa solicitud.

### REFERENCIAS

- Balzarini M., Bruno C., Córdoba M., Teich I. 2015. Herramientas en el Análisis Estadístico Multivariado. Escuela Virtual Internacional (CAVILA). Córdoba, Argentina: Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba.
- Chong, J., Xia, J. 2018. MetaboAnalystR: an R package for flexible and reproducible analysis of metabolomics data, *Bioinformatics*, 34(24): págs. 4313–4314. DOI: <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/bty528>
- Chong, J., Wishart, D.S., Xia, J. (2019). Using metaboanalyst 4.0 for comprehensive and integrative metabolomics data analysis. *Current Protocols in Bioinformatics*, 68, e86. DOI: <https://doi.org/10.1002/cpbi.86>
- Córdoba, M., Bruno, C., Costa, J., Balzarini, M. 2013. Subfield management class delineation using cluster analysis from spatial principal components of soil variables. *Computers and Electronics in Agriculture*, 97: págs. 6-14. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2013.05.009>
- Cortez, A., Olivares, B., Parra, R., Lobo, D., Rodríguez, M.F., Rey, J.C. 2018. Descripción de los eventos de sequía meteorológica en localidades de la cordillera central, Venezuela. *Ciencia, Ingenierías y Aplicaciones*, I (1): págs. 22-44. DOI: <http://dx.doi.org/10.22206/cyap.2018.vlil.pp23-45>.
- Cortez, A., Rodríguez, M.F., Rey, J.C., Ovalles, F., González, W., Parra, R., Olivares, B., Marquina, J. 2016. Variabilidad espacio temporal de la precipitación en el estado Guárico, Venezuela. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)*, 33 (3): págs. 292-310. Disponible en línea: <https://produccioncientificaluz.org/index.php/agronomia/article/view/27204/27826>

- Cuadras, C. M. 1992. Probability distributions with given multivariate marginals and given dependence structure. *J. Multivariate Analysis*, 42: págs. 51-66.
- Cuadras, C. M., J. Fortiana. 2000. The Importance of Geometry in Multivariate Analysis and some Applications. In: C.R. Rao and G. Szekely, (Eds.), *Statistics for the 21st Century*, pp. 93-108. Marcel Dekker, N. York.
- Demey, J., Adams, M., Freites, H. 1994. Uso del método de análisis de componentes principales para la caracterización de fincas agropecuarias. *Agronomía Tropical*, 44: págs. 475-497. Disponible en línea: [http://sian.inia.gov.ve/revistas\\_ci/Agronomi a%20Tropical/at4403/Arti/demey\\_j.htm](http://sian.inia.gov.ve/revistas_ci/Agronomi%20Tropical/at4403/Arti/demey_j.htm)
- FAO. 2012. Respuesta del rendimiento de los cultivos al agua. (Boletín de suelo y drenaje de la FAO nro. 66). Roma: FAO.
- Franquín, P. 1983. Modelos estadísticos sobre potenciales del período de crecimiento de cultivos. *Información Climática para el Desarrollo- Reviviendo la Revolución Verde*. Maracay, Venezuela, FONAIAP-BID.
- Hernández, R; Pereira, Y; Molina, JC; Coelho, R; Olivares, B, Rodríguez, K. 2017. Calendario de siembra para las zonas agrícolas del estado Carabobo en la República Bolivariana de Venezuela. Sevilla, España, Editorial Universidad Internacional de Andalucía. Disponible en línea: <https://www.unia.es/explorar-catalogo/item/calendario-de-siembra-carabobo>
- INIA (Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, Venezuela). 2016. Aproximación agroecológica para el nuevo modelo de producción agrícola en Venezuela. Maracay, Venezuela, Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas.
- Kühling, I., Broll, G., Trautz, D. 2016. Spatio-temporal analysis of agricultural land-use intensity across the Western Siberian grain belt. *Science of The Total Environment*, 544: págs. 271–280. DOI:10.1016/j.scitotenv.2015.11.129
- Kuhn, M. 2008. Contributions from Jed Wing and Steve Weston and Andre Williams. *Caret: Classification and Regression Training*, R package version 3.45.
- Lobo, D., A. Cortez., M.F. Rodriguez., F. Ovalles., J.C. Rey, D. Gabriels., R. Parra. 2010. Análisis de la agresividad climática y concentración de las precipitaciones en Venezuela. I. Región de Los Llanos. *Bioagro* 22(3): págs. 169-176. Disponible en línea: [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_artext&pid=S1316-33612012000200005](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_artext&pid=S1316-33612012000200005)
- Mevik, B., Wehrens, R. 2007. The pls Package: Principal Component and Partial Least Squares Regression in R. *Journal of Statistical Software*, 18(2): págs. 1 – 23. DOI: <http://dx.doi.org/10.18637/jss.v018.i02>
- Mitchell, J.P., Shennan, C., Grattan, S.R., May DM. 1991. Tomato fruit yields and quality under water deficit and salinity. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 116: págs.215 – 221.
- Mogollón, L. Comerma. J. (1994). *Suelos de Venezuela*. Caracas, Venezuela, EXLIBRIS.
- Olivares, B. 2016. Descripción del manejo de suelos en sistemas de producción agrícola del sector Hamaca de Anzoátegui, Venezuela. *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida*, 23(1): págs. 14-24. DOI: <https://doi.org/10.17163/lgr.n23.2016.02>
- Olivares, B. 2014. Aplicación del Análisis de Componentes Principales (ACP) en el diagnóstico socio ambiental. Caso: sector Campo Alegre, municipio Simón Rodríguez de Anzoátegui. *Revista Multiciencias*, 14 (4): págs. 364 – 374. Disponible en línea: <https://produccioncientificaluz.org/index.php/multiciencias/article/view/19470/19439>
- Olivares, B. 2018. Tropical conditions of seasonal rain in the dry-land agriculture of Carabobo, Venezuela. *La Granja: Journal of Life Sciences*, 27(1): págs. 86-102. DOI: <http://doi.org/10.17163/lgr.n27.2018.07>
- Olivares, B. Hernández, R; Arias, A; Molina, JC., Pereira, Y. 2018a. Zonificación agroclimática del cultivo de maíz para la sostenibilidad de la producción agrícola en Carabobo, Venezuela. *Revista Universitaria de Geografía*, 27 (2): págs. 139-159. Disponible en línea: <https://www.redalyc.org/jatsRepo/3832/383257592005/html/index.html>
- Olivares, B., Hernández, R. 2019. Ecoterritorial sectorization for the sustainable agricultural production of potato (*Solanum tuberosum* L.) in Carabobo, Venezuela. *Agricultural Science and Technology*, 20(2): págs. 339-354. DOI: [https://doi.org/10.21930/rcta.vol20\\_num2\\_art:1462](https://doi.org/10.21930/rcta.vol20_num2_art:1462)
- Olivares, B., Hernández, R; Arias, A; Molina, JC., Pereira, Y. 2018b. Identificación de zonas agroclimáticas potenciales para producción de cebolla (*Allium cepa* L.) en Carabobo, Venezuela. *Journal of the Selva Andina Biosphere*, 6(2): 70-82. Disponible en línea: [http://www.scielo.org.bo/pdf/jsab/v6n2/v6n2\\_a03.pdf](http://www.scielo.org.bo/pdf/jsab/v6n2/v6n2_a03.pdf)
- Olivares, B., Hernández, R; Coelho, R., Molina, JC., Pereira, Y. 2018c. Analysis of climate types:

- Main strategies for sustainable decisions in agricultural areas of Carabobo, Venezuela. *Scientia Agropecuaria*, 9(3): págs. 359 – 369. DOI: 10.17268/sci.agropecu.2018.03.07
- Olivares, B., Parra, R., Cortez, A., Rodríguez, M. F. 2012. Patrones de homogeneidad pluviométrica en estaciones climáticas del estado Anzoátegui, Venezuela. *Revista Multiciencias*, 12(Extraordinario), 11-17. Disponible en línea: <https://produccioncientificaluz.org/index.php/multiciencias/article/view/18948/18939>
- Olivares, B., Zingaretti, M. L., Demey Zambrano, J. A., Demey, J. R. 2016. Tipificación de los sistemas de producción agrícola y la percepción de la variabilidad climática en Anzoátegui, Venezuela. *Revista FAVE - Ciencias Agrarias*, 15(2): págs. 39-50. DOI: <https://doi.org/10.14409/fa.v15i2.6587>
- Paredes, F., Barbosa, H., Ruiz, I. & Peñaloza-Murillo, M. (2016). Patrones de Circulación Atmosféricos-Oceánicos a Meso-Escala Vinculados a las Sequías Severas y Extensas en Venezuela. *Revista Brasileira de Meteorología*, 31: págs. 468-489. DOI:10.1590/0102-778631231420150070.
- Paredes-Trejo, F., Olivares, B. 2018. El desafío de la sequía en Venezuela. En: Núñez Cobo, J. y Verbist, K. (Eds.). *Atlas de Sequía de América Latina y el Caribe*. (pp.127-136). Francia, UNESCO. Disponible en línea: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000265894>
- Parra, R., Olivares, B., Cortez, A., Lobo, D., Rodríguez, M.F., Rey, J.C. 2018. Características de la sequía meteorológica (1980-2014) en dos localidades agrícolas de los andes venezolanos. *Revista de Investigación*, 42(95): págs. 38-55. Disponible en línea: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=3761/376160247003>
- Pla, L. E. 1986. *Análisis multivariado: método de componentes principales*. Washington, USA: Organización de Estados Americanos (OEA).
- R CORE TEAM. 2015. *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Rodríguez, M.F., Cortez, A., Olivares, B., Rey, J.C., Parra, R. Lobo, D. 2013. Análisis espacio temporal de la precipitación del estado Anzoátegui y sus alrededores. *Agronomía Tropical*, 63 (1-2): págs. 57-65.
- Salman, S., Abu Ruka'h, Y. 1999. Multivariate and principal component statistical analysis of contamination in urban and agricultural soils from north Jordan. *Environmental Geology* 38 (3): págs. 265–270 DOI: <https://doi.org/10.1007/s002540050424>
- Vicario, L., García, C., Teich, I., Bertoni, J., Ravelo, A., Rodríguez, A. 2015. Caracterización de las sequías meteorológicas en la región central de la Argentina. *Tecnología y Ciencias del Agua*, VI(1): págs. 153-165. Disponible en línea: <http://www.scielo.org.mx/pdf/tca/v6n1/v6n1a9.pdf>
- Villazón, J. A, Martín, G., Cobo, Y. 2017. Análisis multivariado de las propiedades químicas de los suelos pardos erosionados. *Centro Agrícola*, 44(1): págs. 56-62. Disponible en línea: <http://scielo.sld.cu/pdf/cag/v44n1/cag08117.pdf>
- Xia, J., Psychogios, N., Young, N. Wishart, D.S. 2009. MetaboAnalyst: a web server for metabolomic data analysis and interpretation, *Nucleic Acids Research*, 37 (2): págs. W652–W660. DOI: <https://doi.org/10.1093/nar/gkp356>