

Asociación Argentina de Economía Agraria

Zonificación Agroeconómica del Sector Rural de la Provincia de Córdoba.

28 de septiembre 2019

Categoría: Trabajo de investigación

Área Temática: 1.4 (Impacto de la Política Económica en la actividad agropecuaria)

Federico Monzani¹
moncha72@gmail.com

Mariano Augusto Córdoba¹
marianoacba@gmail.com

Renzo Enrique Polo¹
renzoepolo@gmail.com

Juan Pablo Carranza¹
carranzajuanp@gmail.com

Micael Jeremías Salomón¹
micaelsalomon@gmail.com

Mario Andrés Piumetto¹
mpiumetto@yahoo.com.ar

¹El trabajo fue desarrollado en el marco del Estudio Territorial de la Provincia de Córdoba, proyecto PNUD AR/16/005

Zonificación Agroeconómica del Sector Rural de la Provincia de Córdoba.

Resumen

El objetivo del presente trabajo es identificar zonas agroeconómicas homogéneas en el sector rural de la provincia de Córdoba que posibiliten a los hacedores de política aproximarse a la problemática del sector, brindando un conjunto de herramientas que contribuyan a comprender la dinámica de la actividad agroeconómica en la región y a favorecer su planificación

Con este fin, se propone un protocolo para la delimitación de zonas agroeconómicas basado en la técnica de conglomerados Fuzzy c-Means Clustering y el análisis de Componentes Principales con el propósito de facilitar la observación de variables que reseñan las zonas identificadas.

Del análisis por conglomerado resultaron 5 zonas agroeconómicas para la provincia de Córdoba, las cuales fueron caracterizadas por medio de la técnica de componentes principales, definiéndose regiones agrícolas, ganaderas y relacionadas con factores del producto bruto geográfico.

Palabras Claves: zonas agroeconómicas, fuzzy c-means clustering, componentes principales

Abstract

The objective of this paper is to identify agroeconomic homogeneous areas in the rural sector of the Córdoba province to collaborate policy makers approach sector problem, providing a set of tools that contribute to understanding the dynamics of agroeconomic activity in the region and favor its planning

To this end, a protocol is proposed for the delimitation of agroeconomic zones based on the Fuzzy c-Means Clustering conglomerate technique and the analysis of Main Components in order to facilitate the observation of variables that review the identified areas.

The cluster analysis resulted in 5 agroeconomic zones for the province of Córdoba, which were characterized by means of the main components technique, defining agricultural, livestock regions and related factors of geographical gross product.

Keywords: agroeconomic zones, fuzzy c-means clustering, main components

Área Temática: 1.4 (Impacto de la Política Económica en la actividad agropecuaria)

Introducción

La provincia de Córdoba se ubica en el centro de la República Argentina y ocupa una superficie de 165321 Km², dividida administrativamente en 26 departamentos. Se caracteriza por presentar dos formas de relieve; sierras y llanuras. El sector serrano ocupa la porción occidental del territorio y la llanura ocupa una extensa zona al oeste, este y sur de la provincia. La gran diversidad de su topografía, clima y suelos genera diferentes aptitudes y capacidades de uso (según clasificación del USDA). En la Figura 1¹ se presenta la superficie (km²) y porcentaje de

¹La figura 1 proviene de elaboración propia, en base a información proporcionada por las cartas de suelo digitalizadas por el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria –INTA –, la Secretaría de Agricultura y Secretaría de Ambiente de la Provincia de Córdoba. Trabajadas en el marco del Estudio Territorial de la Provincia de Córdoba

¹El trabajo fue desarrollado en el marco del Estudio Territorial de la Provincia de Córdoba, proyecto PNUD AR/16/005

los suelos de la Provincia de Córdoba según su capacidad de uso. Se observa que las categorías VII y III representan el 25 y 24%, respectivamente, de la superficie de la Provincia. Las tierras con mayor potencial para la producción agrícola (capacidad de uso I, II, III y IV) se ubican principalmente al este de la provincia, mientras que al oeste se ubican los suelos de menor aptitud agrícola (capacidad de uso VI, VII, VIII). En términos porcentuales el 51% del suelo de la provincia de Córdoba, (83919 km²) es de aptitud agrícola; mientras que el 40% (15160 km²) su capacidad de uso es ganadera (Figura 2). Reflejando que la provincia de Córdoba se caracteriza por ser una provincia agropecuaria donde el 90% de sus suelos poseen aptitud agrícola – ganadera.

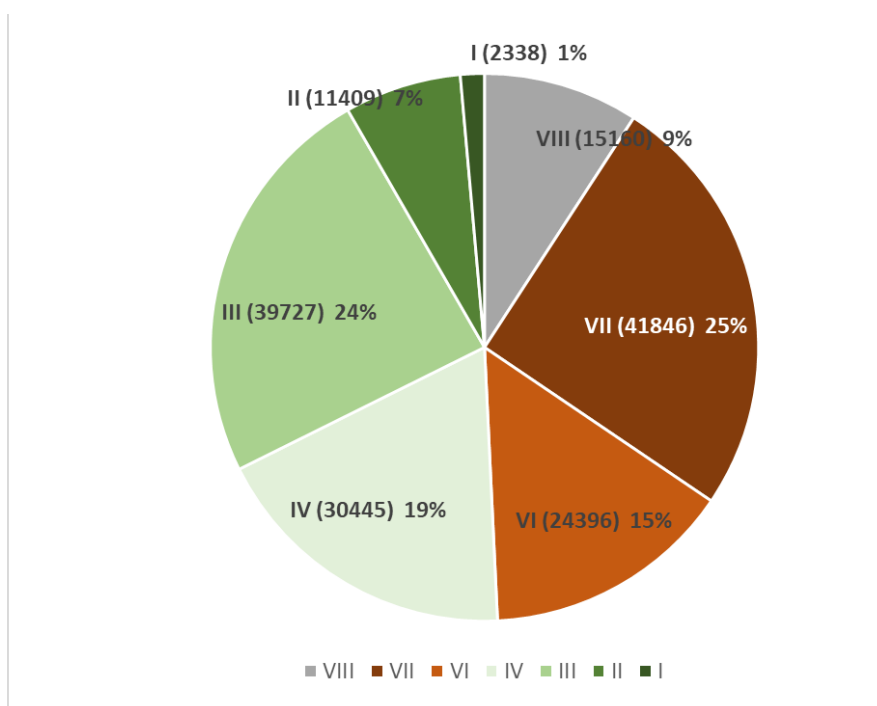


Figura 1. Capacidad de uso de los suelos de la Provincia de Córdoba según superficie (km²) y porcentaje respecto al total de hectareas.

¹El trabajo fue desarrollado en el marco del Estudio Territorial de la Provincia de Córdoba, proyecto PNUD AR/16/005

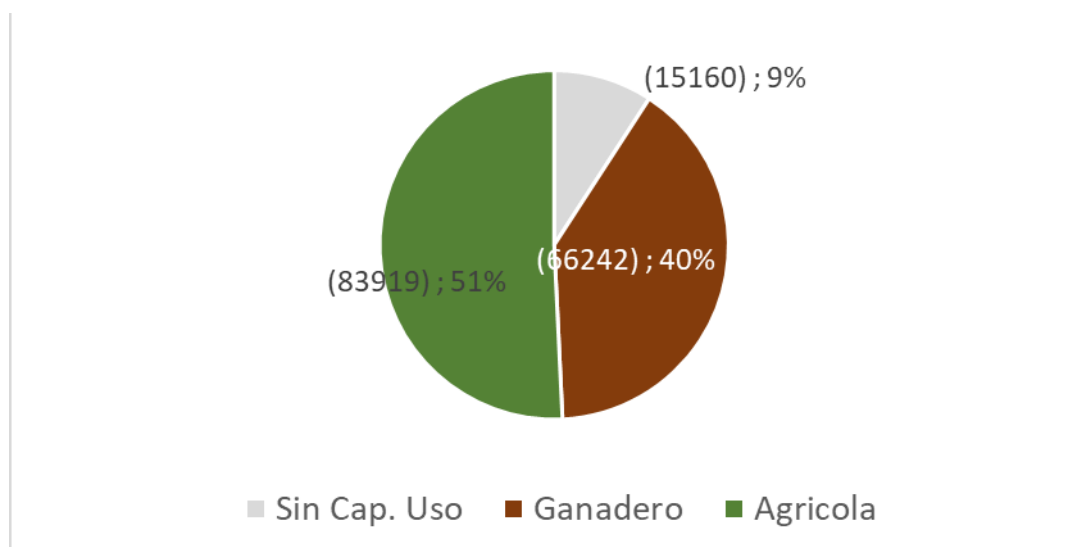


Figura 2. Aptitud de uso de los suelos de la Provincia de Córdoba según superficie (km²) y porcentaje respecto al total de hectareas.

Para una provincia de fuertes aptitudes agropecuarias, la aprobación de la soja transgénica tolerante al herbicida glifosato, por parte del Ministerio de Economía y Obras y Servicios Públicos Secretaría de Agricultura Ganadería, Pesca y Alimentación bajo resolución 167 del 25 de mayo 1996, tuvo un fuerte impacto en su sistema agroeconómico, desde un cambio tecnológico en el sistema agropecuario productivo, siembra directa, uso de plantas transgénicas y rotación de cultivos con inclusión de gramíneas, principalmente maíz – soja, trigo – soja de segunda o una combinación de ambos. A su vez este nuevo sistema productivo de agriculturización generó un desplazamiento de la ganadería, principalmente de la cría, hacia zonas marginales donde no se puede desarrollar la agricultura (capacidad de uso VI y VII); modificando el sistema productivo ganadero, pasando de una producción extensiva (invernadores), hacia una producción intensiva de engorde a corral (feedlots) Empleando los productos de la agricultura, principalmente soja y maíz.

El abrupto cambio del sector rural producido en los últimos 20 años genera la necesidad de identificar zonas agroeconómicas homogéneas que sean de utilidad a los hacedores de política para comprenderla dinámica del desarrollo agroeconómico regional y sectorial de la Provincia de Córdoba. Facilitando su gestión, planificación y control

El Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), a partir de la década del 90 fue generando una serie de informes con el objeto de establecer zonas homogéneas para toda la Argentina. Refiriéndose como zonas homogéneas a unidades territoriales de características ambientales, estructurales, socioeconómicas, productivas e institucionales similares. Estas zonas fueron construidas a través de procesos de estudios que contemplan análisis edafológicos, climáticos, socioeconómicos e institucionales. Mientras que este trabajo se basa en la técnica estadística de conglomerados Fuzzy c-Means Clustering con el propósito de definir las zonas homogéneas y se utiliza el análisis de Componentes Principales con el objeto de caracterizar las zonas reseñadas.

Materiales y Métodos

El trabajo fue desarrollado en el marco del proyecto PNUD AR/16/005 y conducido para la Provincia de Córdoba por un equipo interdisciplinario integrado por geógrafos, ingenieros agrónomos y economistas, con el objetivo de generar un estudio territorial de alcance provincial. En el marco de dicho proyecto, se generaron grandes volúmenes de información

¹El trabajo fue desarrollado en el marco del Estudio Territorial de la Provincia de Córdoba, proyecto PNUD AR/16/005

que, para el análisis del sector rural, consistió en variables de características agro-económicas impactadas en una grilla de un 1km² de resolución espacial.

Las variables agro-económicas empleadas se presentan en la siguiente tabla,

tabla 1 presenta las variables agroeconómicas utilizadas, donde la mayoría son de características departamentales

Característica Variable	Nombre Variable	Definición	Fuente
Agropecuarias	vacas	numero de cabezas de vacas por departamento	Senasa ¹
	novillos	numero de cabezas de novillos por departamento	
	novillitos	numero de cabezas de novillitos por departamento	
	toritos	numero de cabezas de toritos por departamento	
	terneros	numero de cabezas de terneros por departamento	
	terneras	numero de cabezas de terneras por departamento	
	toros	numero de cabezas de toros por departamento	
	soja	qq/ha de soja promedio por departamento	Ministerio de Agroindustria ²
	maíz	qq/ha de maíz promedio por departamento	
	girasol	qq/ha de girasol promedio por departamento	
	sorgo	qq/ha de sorgo promedio por departamento	
Producto Geografico Bruto en pesos por departamente medido en valor agregado	pgb	Producto Geografico Bruto por departamento en pesos	Dirección General de Estadística y Censo de la Provincia de Córdoba ³
	spb	sectores productores de bienes	
	agri	Agricultura, ganadería, caza y silvic	
	mine	Minería	
	ind_manuf	Industria manufacturera	
	elect_agua	suministro de electricidad, gas y agua	
	constr	Construcción	
	prod_servi	Sector productores de servicios	
	comercio	Comercio al por mayor y al por menor	
	hoteles	Hoteles y restaurantes	
	transporte	Transporte, almacenamiento y comunicación	
	financiera	Intermediación financiera	
	activ_inmo	Actividades inmobiliarias empresariales y de alquiler	
	adm_pub_de	Adnubstración publica y defensa	
	enseñanza	Enseñanza	
servicios	Servicios sociales y de salud		
otras_activ	Otras actividades de servicios comunitarios, etc		
serv_dom	Hogares privados con servicios domésticos		
Variables no departamentales de elaboración propia	x, y	Coordenadas X, Y EPSG POSGAR 98	
	cap_uso	Clases de Capacidad de Uso de la Tierra	Cartas suelo digitalizadas INTA
	d_acopio	Distancia acopio	Estudio territorial provincia Córdoba
	d_vialpav	Distancia a vias pavimentadas	Estudio territorial provincia Córdoba
	arrenda	Valor de arrendameinto en soja qq/ha	Bolsa de cereales de Córdoba ⁴
	rto_sj	rendimiento en qq/ha soja interpolado tecnica kriging campaña 2017/18	
rto_mz	rendimiento en qq/ha maíz interpolado tecnica kriging campaña 2017/18		

Donde las variables agropecuarias se obtuvieron de las páginas web del Ministerio de Agroindustria y del SENASA². Los componentes sectoriales del Producto Geográfico Bruto (PGB) se obtuvieron de la página web de la dirección general de estadística y censos de la provincia de Córdoba,³. Además, se elaboraron un conjunto de variables que surgen del estudio territorial de la provincia de Córdoba y de la bolsa de cereales de Córdoba⁴. Los rendimientos en quintales por hectárea de soja y maíz fueron interpolados a la cuadrícula de 1km² a través de la técnica geoestadística kriging universal (Oliver, M. A., 2014). Finalmente, para construir la grilla 1km² se utilizó el software libre QGIS (Quantum Geographic Information System).

Las diferentes zonas agro-económicas fueron delimitadas usando la técnica fuzzy c-means (Bezdek, J. C 1984.), la cual es una versión difusa del algoritmo c-means (Jain, A. K 1988)

² <https://datos.agroindustria.gob.ar/dataset?tag>, <https://www.argentina.gob.ar/senasa/mercados-y-estadisticas/estadisticas/animal-estadisticas/bovinos>

³ <https://datosestadistica.cba.gov.ar/dataset/producto-bruto-regional-informes-pcia-y-deptales-2015>

⁴ <http://www.bccba.com.ar/soja-6978.html>

¹El trabajo fue desarrollado en el marco del Estudio Territorial de la Provincia de Córdoba, proyecto PNUD AR/16/005

que consiste en minimizar una función objetivo de distancia euclidiana agrupándola en c-centros difusos. Matemáticamente:

$$J_m(U, v) = \sum \sum (u_{ik})^m d_{ik}^2 = (x_k - v_k)^t A (x_k - v_k)$$

Donde, $(u_{ik})^m$ es el peso asociado a cada distancia al cuadrado (d_{ik}^2), resultando finalmente el peso A , relacionado con la matriz de covarianza y siendo la función a minimizar. En suma, el algoritmo minimiza la distancia euclidiana, agrupando en c-centros difusos, que constituyen las zonas.

Identificas las zonas y con el propósito de hacer una reseña de las mismas, se realizó un análisis de componentes principales (ACP). El ACP es una técnica estadística multivariada que permite reducir la dimensión del análisis mediante una transformación lineal de las variables originales y la generación de variables sintéticas denominadas componentes principales (CP). Las CP son combinaciones lineales de las variables de origen que poseen la característica de ser linealmente independiente entre sí. Esta transformación lineal permite comprimir el conjunto de variables germinales en un número sustancialmente menor de variables no correlacionadas que representan la mayor parte de la información contenida en el conjunto de variables de procedencia y posibilidad, generalmente, reducir el análisis a un problema bi-dimensional.

En resumen, la metodología propuesta permite delimitar regiones homogéneas en función de un conjunto de variables independientes, por medio de la técnica fuzzy c-mean, y analizar, mediante la aplicación del ACP, qué variables resultaron más relevantes en la caracterización de cada una de las zonas. La clasificación y posterior ACP se realizó con el software R.

Resultados y Discusión

Siguiendo las deducciones planteadas, se presentan las zonas agroeconómicas, para la Provincia de Córdoba (Figura 3). Dado que las variables utilizadas como input del análisis de cluster son de características departamentales, el agrupamiento obtenido representa zonas departamentales homogéneas, es decir, se agrupan departamentos con características semejantes.

¹El trabajo fue desarrollado en el marco del Estudio Territorial de la Provincia de Córdoba, proyecto PNUD AR/16/005

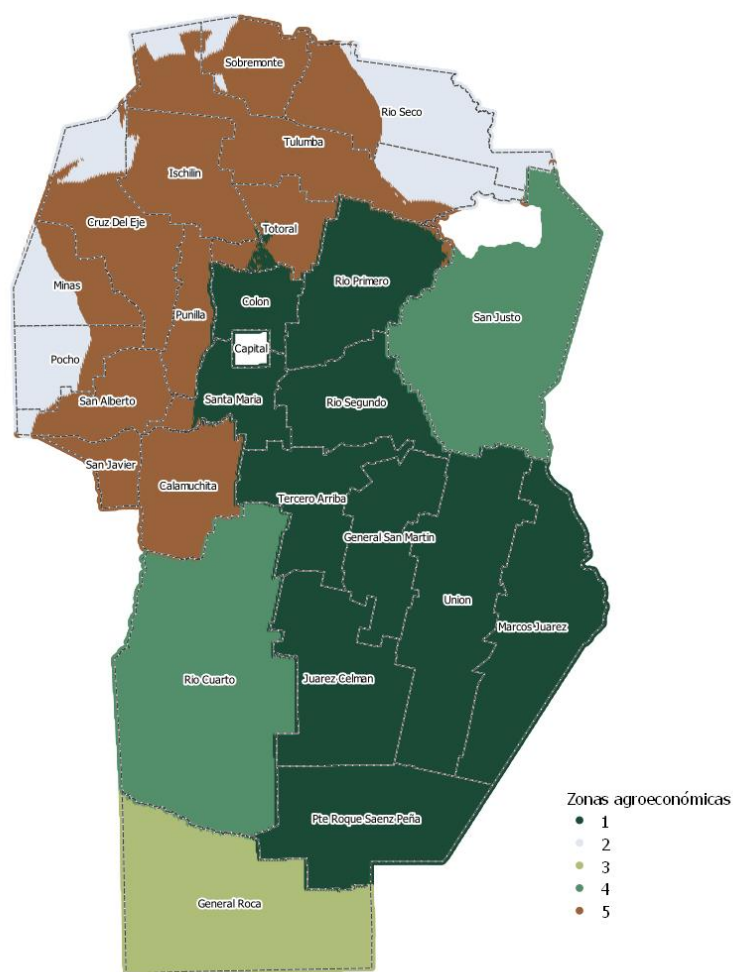


Figura 3. Zonas homogéneas agroeconómicas de la Provincia de Córdoba.

Las zonas agroeconómicas coinciden principalmente con los límites políticos existiendo pequeñas desviaciones. Los departamentos que conforman las zonas son: **Zona 1:** Marcos Juárez, Unión, General San Martín, Tercero Arriba, Juárez Celman, Pte. Roque Saenz Peña, Río Segundo, Santa María, Colón, Totoral, Río Primero. **Zona 2:** Pocho, Minas, Río Seco. **Zona 3:** General Roca. **Zona 4:** San Justo, Río Cuarto. **Zona 5:** Calamuchita, Punilla, San Javier, San Alberto, Cruz del Eje, Ischilín, Tulumba, Totoral, Sobre Monte.

Con el propósito de caracterizar las zonas agroeconómicas se identificaron las siguientes componentes principales, las cuales contienen información de las variables originales.

Tabla 5. Primeras 15 componentes principales (CP) resultantes del Análisis de Componentes Principales, auto valores y variabilidad explicada (varianza) por cada CP.

CP	Auto Valor	Varianza %	Varianza Acum. %
1	21,10	53%	53%
2	6,20	15%	68%
3	3,61	9%	77%
4	2,10	5%	83%
5	1,47	4%	86%

¹El trabajo fue desarrollado en el marco del Estudio Territorial de la Provincia de Córdoba, proyecto PNUD AR/16/005

6	0,90	2%	88%
7	0,84	2%	91%
8	0,74	2%	92%
9	0,62	2%	94%
10	0,45	1%	95%
11	0,36	1%	96%
12	0,32	1%	97%
13	0,26	1%	97%
14	0,23	1%	98%
15	0,19	0%	98%

En la Tabla 5 se observa que las tres primeras CP principales explican el 77% de la variabilidad total

Las Figuras 4, 5, 6 presentan las contribuciones de las variables originales a las componentes principales (autovectores) en términos porcentuales. Variables con autovalores más altos para una CP dada significa que tuvieron mayor peso en su construcción. De esta manera, la CP1 se caracteriza por estar relacionada con variables que definen la vida urbana. Mientras que la CP2 se identificada principalmente con variables relacionadas con el sector agrícola. En tanto la CP3 se encuentra descrita con variables del sector ganadero

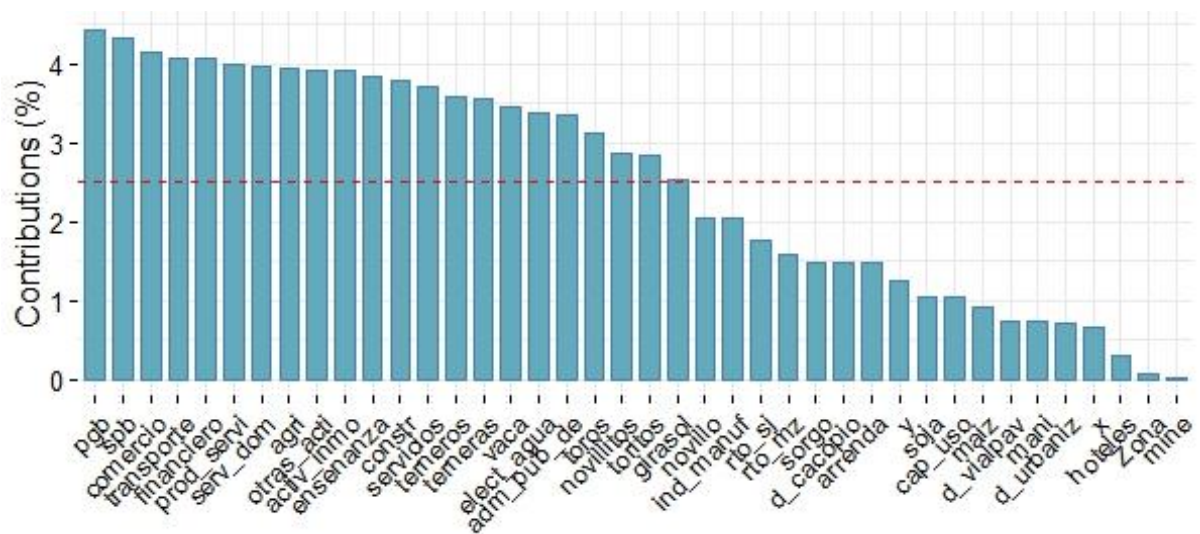


Figura 4 refleja la participación de cada una de las variables a la CP1

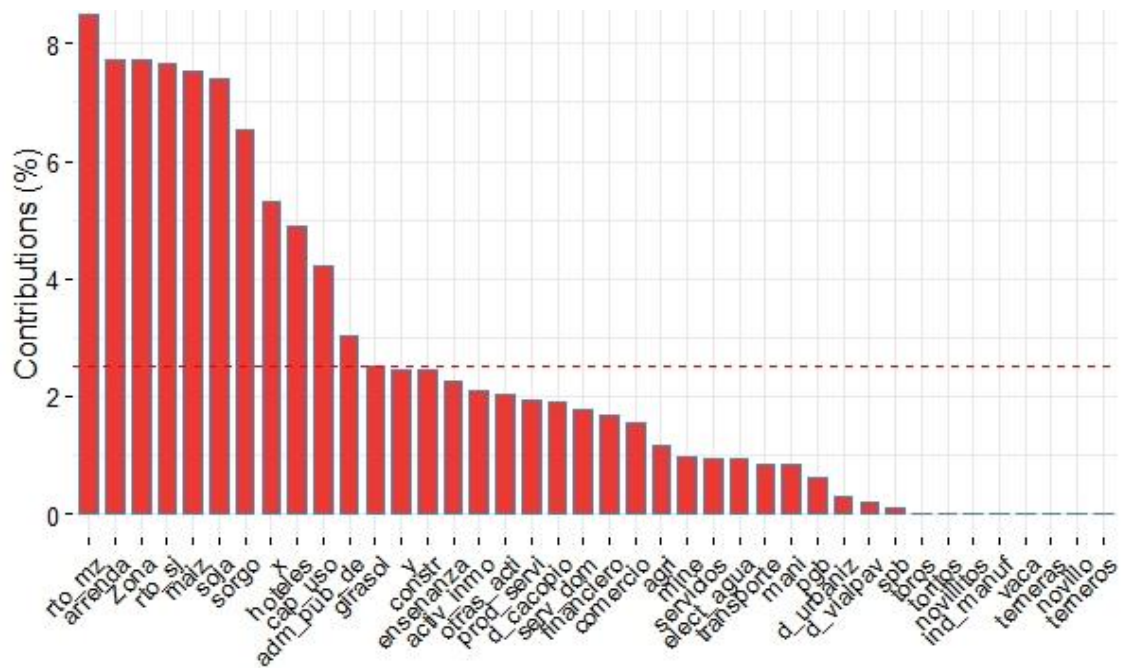


Figura 5 refleja la participación de cada una de las variables a la CP2

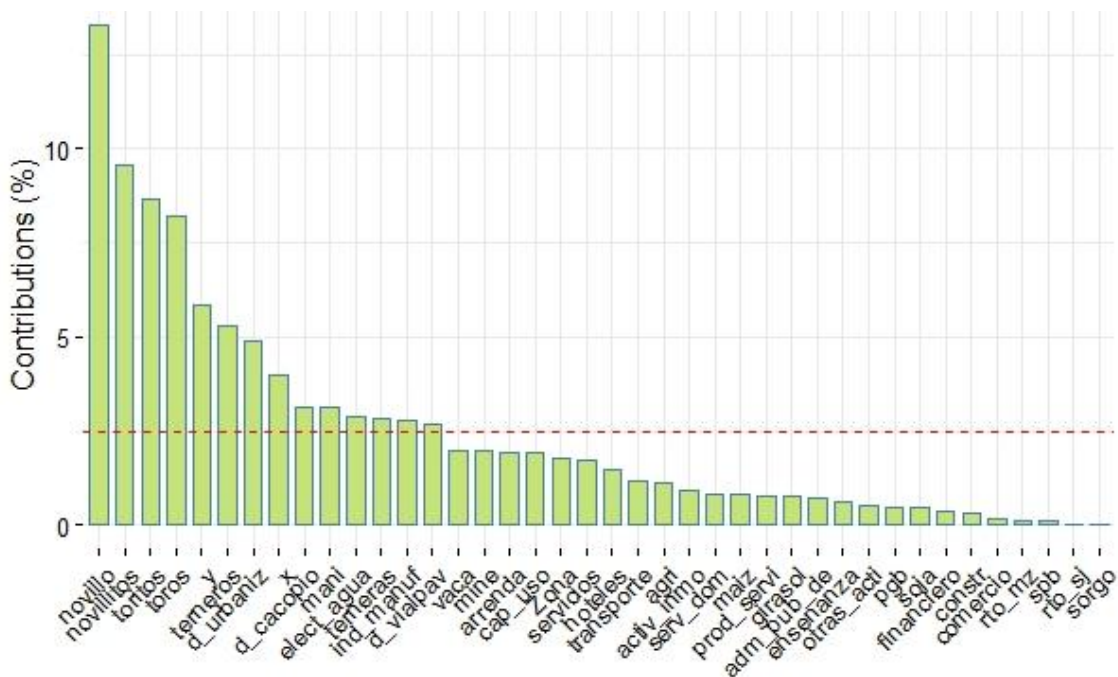


Figura 6 refleja la CP3 y los pesos de cada una de las variables en relación a la CP

En la Figura 7 y 8 se muestra el ordenamiento de las variables en el espacio de las CP 1, CP2 y CP3. La Figura 7 evidencia que la CP1 se relaciona negativamente con variables que describen la estructura macroeconómica provincial: sector de productores de servicios, intermediación financiera, sector productor de servicios, producto geográfico bruto, transporte almacenamiento y comunicación, comercio al por mayor y por menor. Por otro lado, la CP2 revela correlaciones positivas con variables agrícolas: rendimiento de maíz en qq/ha, rendimiento de soja en qq/ha, arrendamiento en qq/ha soja, producción de maíz, producción de soja. En la Figura 8 se observa que la CP1 y la CP3 se relaciona positivamente con variables ganaderas: novillos, novillos, toros, toritos, vacas

¹El trabajo fue desarrollado en el marco del Estudio Territorial de la Provincia de Córdoba, proyecto PNUD AR/16/005

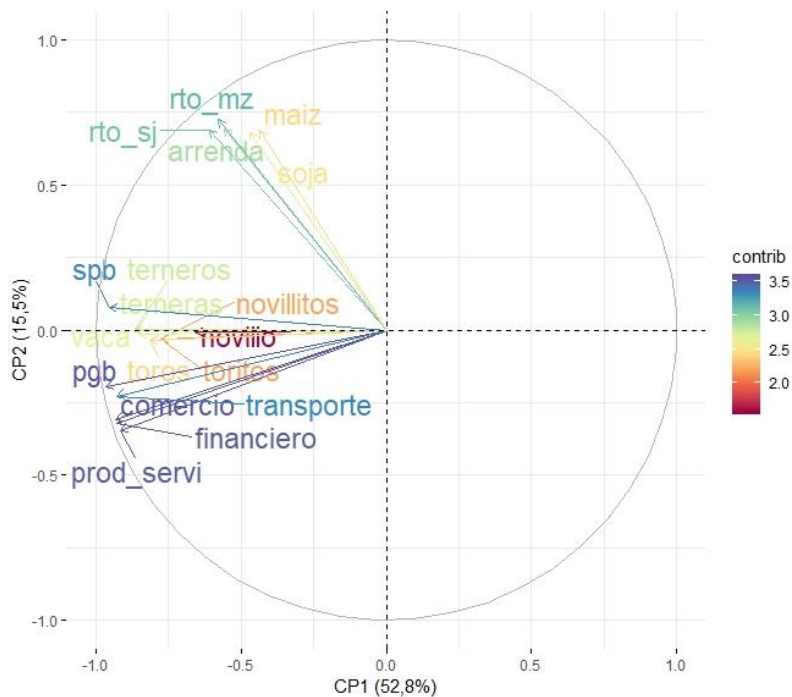


Figura 7. Ordenamiento de las principales variables agroeconómicas en el espacio de las componentes principales 1 y 2

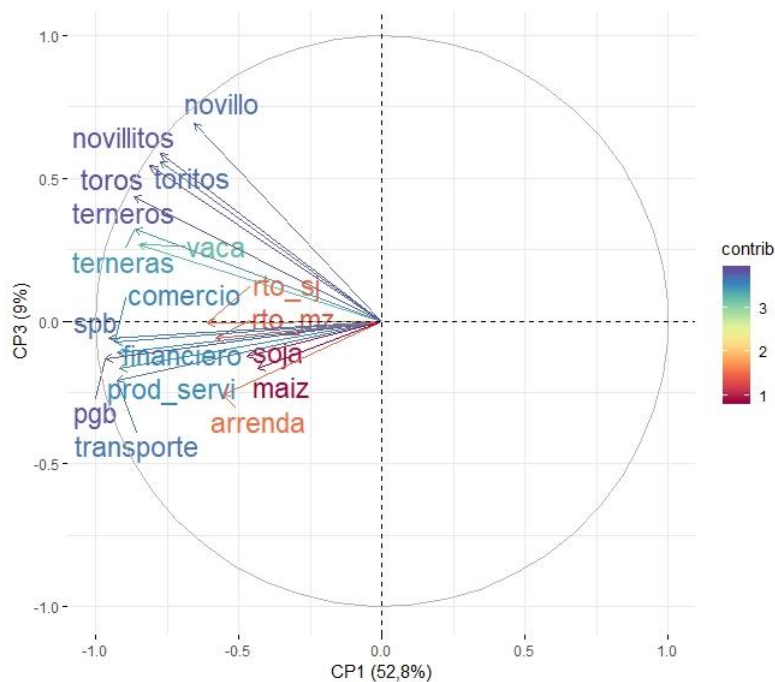


Figura 8 Ordenamiento de las principales variables agroeconómicas en el espacio de las componentes principales 1 y 3

En la Figura 9 y 10 se muestra el ordenamiento de los individuos (observaciones) en el espacio de las CP 1, CP2 y CP3. Se observa que la zona 4 está definida principalmente por la CP1 y por lo tanto se correlaciona con variables de servicios urbanos. Siendo una región densamente poblada donde se encuentran las ciudades de Río IV y San Francisco. Por oposición, la zona 2 y 5 (el arco noroeste de la provincia de Córdoba) se evidencia por ser una zona marginal,

¹El trabajo fue desarrollado en el marco del Estudio Territorial de la Provincia de Córdoba, proyecto PNUD AR/16/005

carentes de recursos, estando levemente relacionada con el producto geográfico bruto. Mientras que la zona 1 y 3 está caracterizada por la CP2, donde ambas zonas son de alto potencial agropecuario. La Zona 1 es altamente reconocida a nivel provincial por su capacidad agrícola, estando directamente relacionada con variables tales como: rendimiento de soja, maíz, sorgo, arrendamiento, capacidad de uso. La Zona 3, cuando se observa la CP2 pareciera cumplir las mismas características que la Zona1. Al analizarse la CP3, como lo muestra la Figura 10, se aprecia más nítidamente que la Zona 3 está relacionada también con variables del sector ganadero tales como: novillitos, terneros, toritos, entre otras.

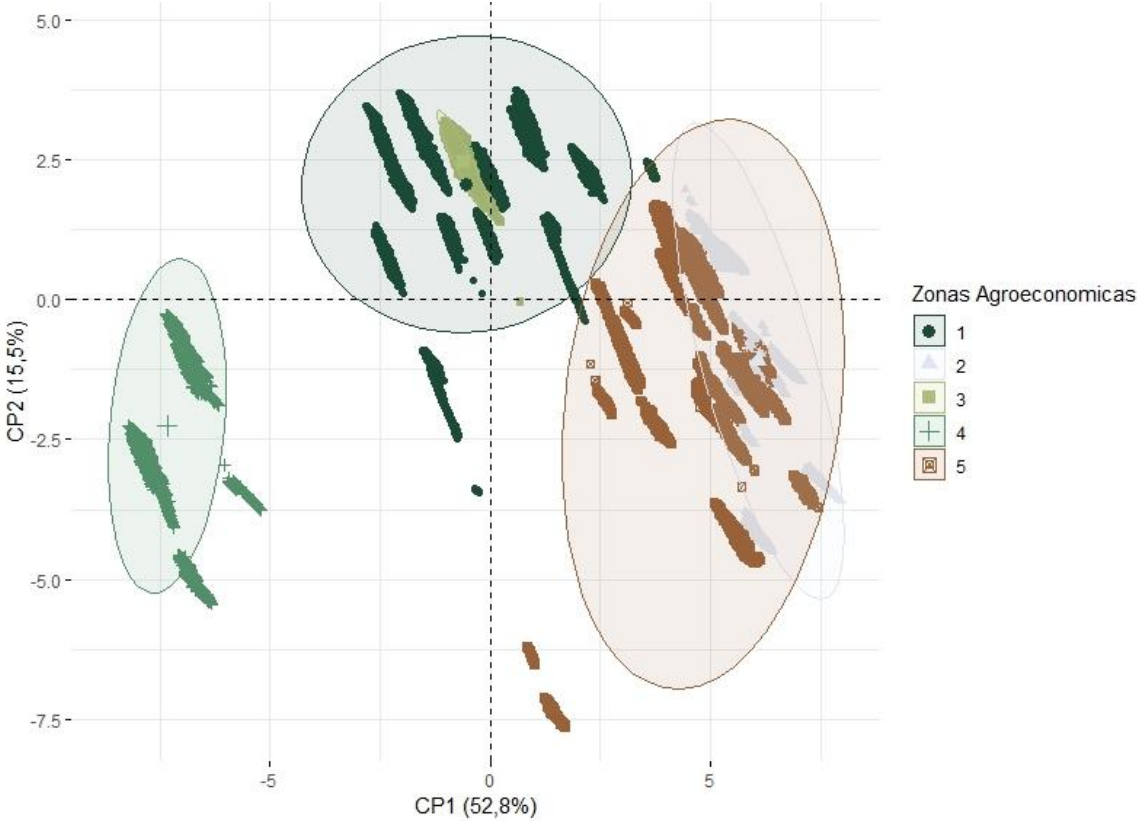


Figura 9 muestra la transformación lineal del espacio de los individuo al biplot (CP1 & CP2)

¹El trabajo fue desarrollado en el marco del Estudio Territorial de la Provincia de Córdoba, proyecto PNUD AR/16/005

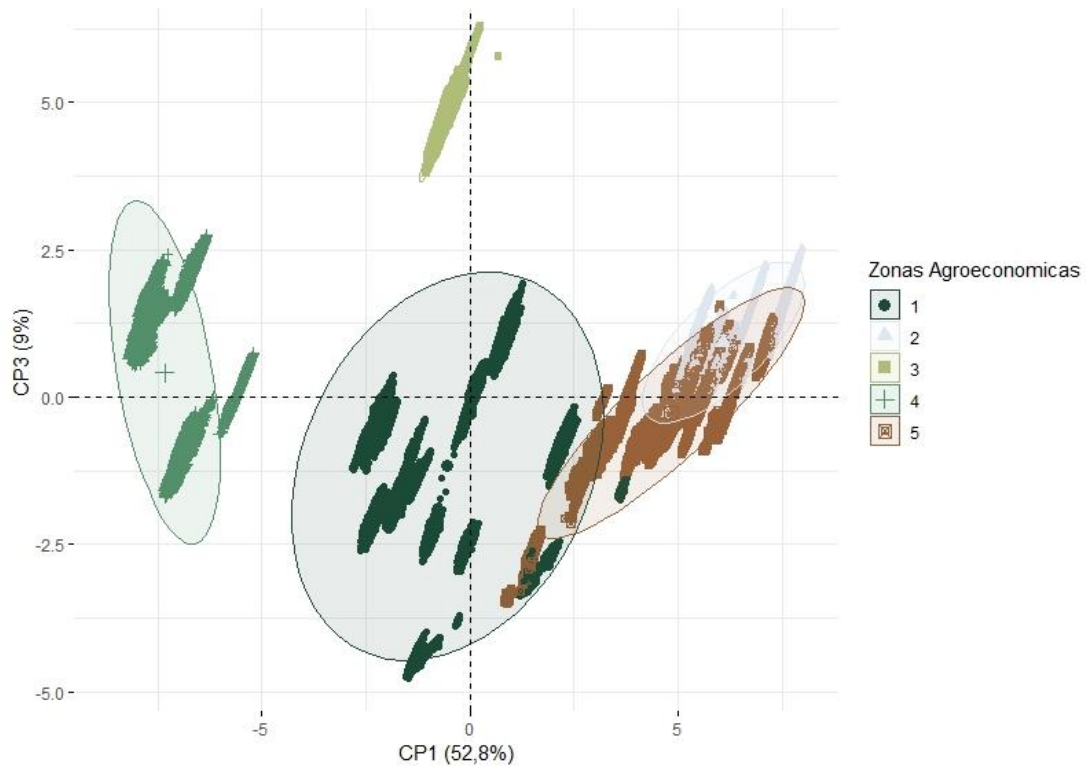
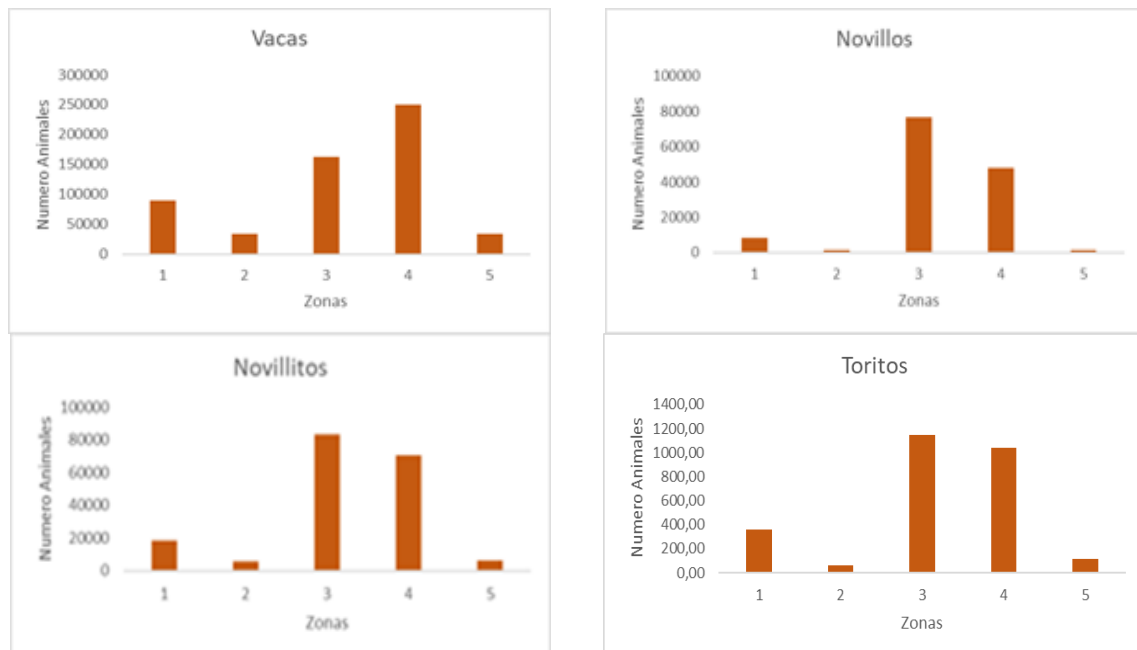


Figura 10 muestra la transformación lineal del espacio de los individuos al biplot (CP1 & CP3)

En la Figura 4 y 5 se presentan los valores promedios según zona homogénea delimitada de las principales variables agroeconómicas empleadas. Cuando se considera las variables ganaderas (Figura 4) se aprecia que las zonas 3 y 4 presentaron los mayores valores promedios de estas variables. De esta forma se podría decir que estas zonas presentan un perfil principalmente ganadero.



¹El trabajo fue desarrollado en el marco del Estudio Territorial de la Provincia de Córdoba, proyecto PNUD AR/16/005

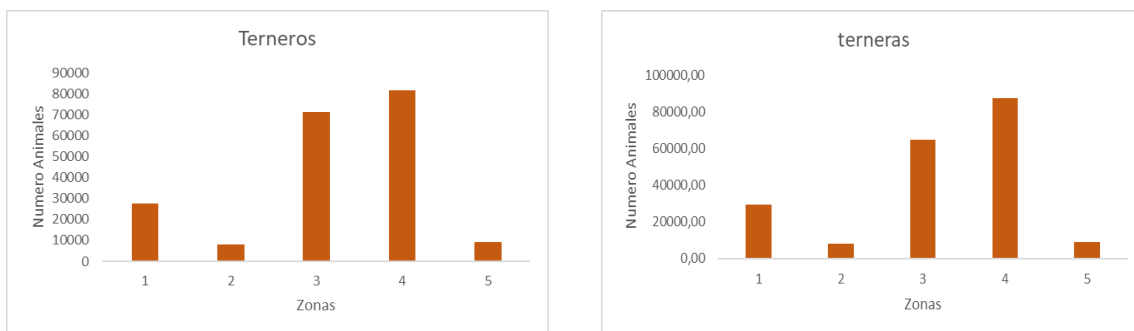


Figura 11. Valores promedios por zona de variables agro-económicas, sector ganadero.

En cuanto a las variables relacionadas a la producción agrícola (Figura 11), se observa que la zona 1, 3 y 4 fueron en promedio la de mayor valor de arrendamiento (qq/ha de soja), mayores rendimientos (qq/ha de soja, maíz, girasol y sorgo) y las que poseen mejor capacidad de uso del suelo (Categoría I).



Figura 12. Valores promedios por zona de variables agro-económicas, sector agrícola.

Al considerar las variables de los distintos sectores del producto geográfico bruto (PGB) (Figura 12) que la zona 4 es la que mayor contribución presenta en la producción sectorial de la

¹El trabajo fue desarrollado en el marco del Estudio Territorial de la Provincia de Córdoba, proyecto PNUD AR/16/005

provincia de Córdoba, en sectores tales como servicios financieros, servicios públicos, actividad inmobiliaria, servicios de transporte, producción de servicios, comercio.

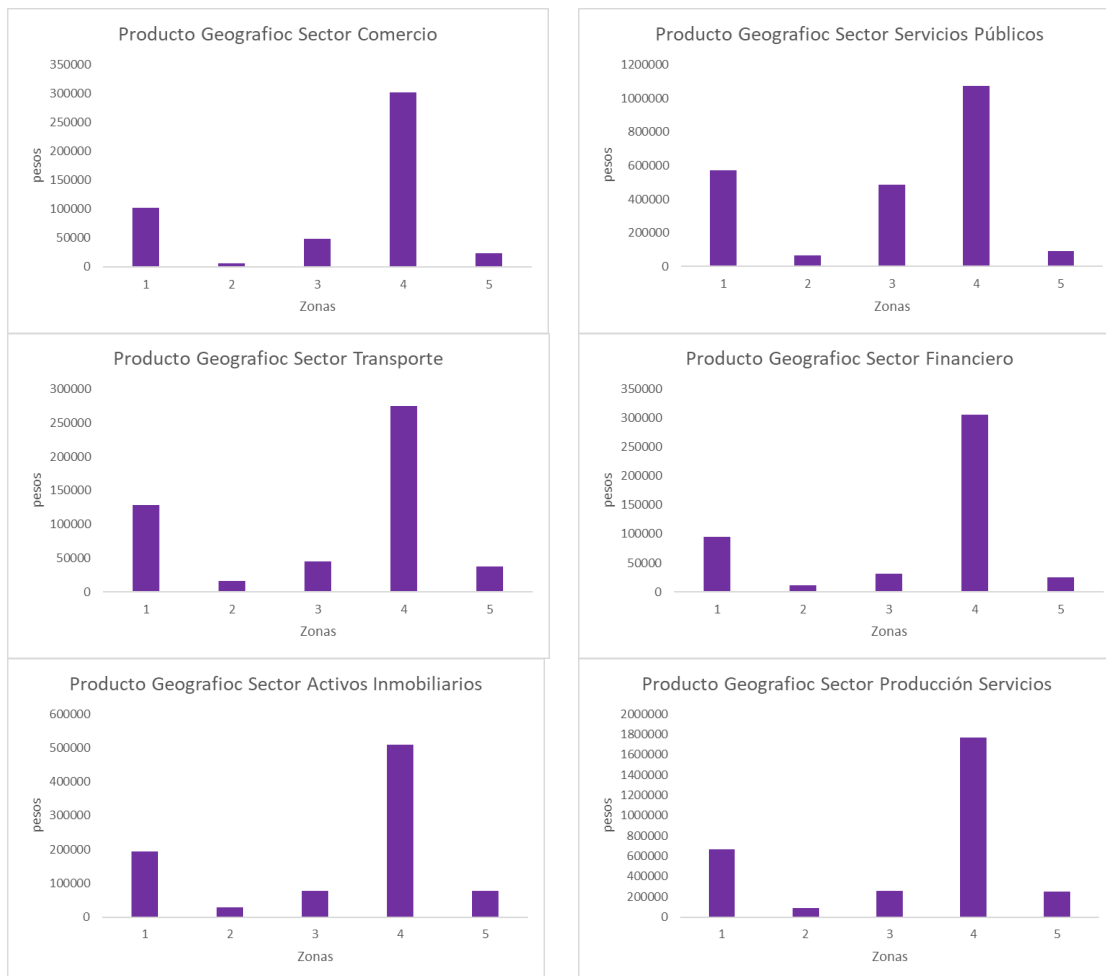


Figura 13. Valores promedios por zona de variables indicadoras del producto geográfico bruto.

Consideraciones Finales

Con el objetivo de desarrollar un conjunto de herramientas que contribuyan a comprender la dinámica de la actividad económica en la región y a favorecer su planificación, se propuso la construcción de zonas agroeconómicas de la provincia de Córdoba por medio de la técnica fuzzy c-means y se caracterizaron las regiones mediante el uso de la técnica multivariada de componentes principales.

De esta manera, la provincia de Córdoba fue clasificada en cinco zonas agroeconómicas diferentes, que se pueden caracterizar del siguiente modo:

- Zona 2 y Zona 5, arco noroeste de la provincia de Córdoba, se caracteriza por ser una zona marginal, carente de recursos y población con escasa participación en el producto geográfico bruto
- Zona 4, de alta densidad poblacional donde se encuentran las ciudades de San Francisco y Rio IV se califica por detentar una elevada participación en el producto geográfico bruto.
- Zona 1, se la identifico como la zona agrícola de la provincia de Córdoba
- Zona 3, se la reconoció como la zona ganadera.

¹El trabajo fue desarrollado en el marco del Estudio Territorial de la Provincia de Córdoba, proyecto PNUD AR/16/005

Por último, se espera que esta metodología sea de utilidad para asistir a los hacedores de política en el estudio, comprensión y aproximación de la problemática del sector para favorecer la planificación y toma de decisiones.

Agradecimientos

El desarrollo del presente artículo fue posible gracias al esfuerzo de un conjunto de personas que trabajan en Estudio Territorial Inmobiliario. En el área relevamiento del mercado inmobiliario participaron la Arq. Adriana Menendez, el Arq. Saulo Nazareno, el Arq. Marcos Chesta, el Arq. Sergio Quilaleo y la Ing. Florencia Centeno. En la revisión y procesamiento de los datos de mercado: el Arq. Tomás Najleti, la Ing. Nadia Llarrull, la Ing. Elena Toccaceli y la Ing. Manuela Tosello. En la generación de variables y cálculos espaciales: el Ing. Hernán Morales, la Lic. Luz Fuentes, la Lic. Mara Rojas, la Ing. Camila Garmendia y la Mgter. Abril Margonari. En el desarrollo de las herramientas informáticas para el Observatorio del Mercado Inmobiliario: El Lic. Martín Bustos Mena, el Ing. Aldo Algorry y el analista Carlos Salinas. Un agradecimiento especial a la *Lic. Luz Fuentes* por su colaboración en la construcción de la base de datos y la grilla de predicción

Bibliografía:

Bezdek, J. C., Ehrlich, R., & Full, W. (1984). FCM: The fuzzy c-means clustering algorithm. *Computers & Geosciences*, 10(2-3), 191-203.

Díaz, r. a., & Mormeneoz, i. (2002). *Zonificación del clim) de la región pampeana a mediante análisis de conglomerados por consenso*

Dunn, J. C. (1974). Well-separated clusters and optimal fuzzy partitions. *Journal of cybernetics*, 4(1), 95-104.

Ghida Daza, C., & Sánchez, C. (2009). Zonas Agroeconómicas Homogéneas: Córdoba, área de influencia de la EEA INTA MANFREDI. Manfredi, Córdoba (AR): INTA EEA Manfredi. Cartilla Digital Manfredi No. 3.

Hartigan, J. A. (1975). Clustering Algorithms, New York: John Willey and Sons. *Inc. Pages113129.*

Hennig, C. (2007). Cluster-wise assessment of cluster stability. *Computational Statistics & Data Analysis*, 52(1), 258-271.

Hubert, L. J., & Levin, J. R. (1976). A general statistical framework for assessing categorical clustering in free recall. *Psychological bulletin*, 83(6), 1072.

Jain, A. K., & Dubes, R. C. (1988). *Algorithms for clustering data*(Vol. 6). Englewood Cliffs, NJ: Prentice hall.

Khosla, R., Fleming, K., Delgado, J. A., Shaver, T. M., & Westfall, D. G. (2002). Use of site-specific management zones to improve nitrogen management for precision agriculture. *Journal of Soil and Water Conservation*, 57(6), 513-518.

Kurina, F. G., Hang, S., Cordoba, M. A., Negro, G. J., & Balzarini, M. G. (2018). Enhancing edaphoclimatic zoning by adding multivariate spatial statistics to regional data. *Geoderma*, 310, 170-177.

Milligan, G. W., & Cooper, M. C. (1985). An examination of procedures for determining the number of clusters in a data set. *Psychometrika*, 50(2), 159-179.

Molin, J. P., & Castro, C. N. D. (2008). Establishing management zones using soil electrical conductivity and other soil properties by the fuzzy clustering technique. *Scientia Agricola*, 65(6), 567-573.

OLIVER, M. A., Y WEBSTER, R. (2014). A tutorial guide to geostatistics: Computing and modelling variograms and kriging. *Catena*, 113, 56-69.

Roselló, M. J. P., Martínez, J. M. V., & Navarro, B. A. (2000). Aplicación de un análisis cluster para evaluación de la vulnerabilidad a la contaminación de los acuíferos. In *Ciencia y tecnología de la información geográfica en un mundo globalizado: X Congreso del Grupo de Métodos Cuantitativos, Sistemas de Información Geográfica y Teledetección* (p. 11).