

COMPARACIÓN DE LA EFICIENCIA RELATIVA PARA LA ESTRATIFICACIÓN ÓPTIMA EN LA TIPOLOGÍA DE PRODUCTORES AGROPECUARIOS

COMPARISON OF RELATIVE EFFICIENCY FOR OPTIMAL STRATIFICATION IN THE AGRICULTURAL PRODUCERS TYPOLOGY

Juan Ruiz-Ramírez¹, Felipe Gallardo-López^{2*}, Gabriela E. Hernández-Rodríguez², Carlos M. Hernández-Suárez³, Pedro Cisneros-Saguilán⁴, Héctor Chalate-Molina²

¹Facultad de Economía, Universidad Veracruzana. Avenida Xalapa s/n, esquina Ávila Camacho. 91020. Xalapa, Veracruz, México. ²Agroecosistemas Tropicales. Campus Veracruz. Colegio de Postgraduados. Carretera Federal Xalapa-Veracruz Km 88.5, 91700. Veracruz, México. (felipegl@colpos.mx). ³Facultad de Ciencias, Universidad de Colima. Bernal Díaz del Castillo no. 340, Colonia Villas San Sebastián. 28045, Colima, México. ⁴Departamento de Ciencias Agropecuarias, Tecnológico Nacional de México, Pinotepa Nacional, Oaxaca, México.

RESUMEN

La tipología de productores es una de las técnicas más utilizadas en el diseño de programas diferenciados para el sector agropecuario, su éxito depende de la eficiencia para la estratificación óptima. El objetivo del presente estudio fue comparar las técnicas de Dalenius y Hodges y K-medias en términos de la eficiencia relativa para la estratificación óptima en la tipología de productores agropecuarios en México. La hipótesis fue que la técnica de Dalenius y Hodges es más eficiente que la de K-medias. La información de dos encuestas se analizó y contrastó; una de ellas aplicada a productores de malanga (*Arum esculentum* L.) y otra a ganaderos con bovinos de doble propósito. La información se capturó y analizó en el software Statística v. 7. Las variables analizadas fueron: superficie, producción, jornales, e ingresos por la venta de malanga o ganado. Tres estratos o grupos se formaron, y por componentes principales se estratificaron con el primer componente principal y el método de Dalenius y Hodges, el cual se contrastó con la técnica de K-medias, ubicada en el módulo del análisis de conglomerados, en la misma interfaz de Statística. Para la comparación de la eficiencia relativa de las variables, superficie sembrada de malanga y tamaño del rancho (ha), se utilizó el cociente de las varianzas de ambas técnicas de acuerdo con la fórmula de eficiencia relativa. Los resultados mostraron que ambas técnicas coincidieron en 87.5% en los productores de malanga y 91.6% en los productores con bovinos. Sin embargo la tipología obtenida por la técnica de Dalenius y Hodges es más eficiente que la del método de K-medias con análisis de conglomerados, debido a que minimiza la varianza entre estratos. Esta

ABSTRACT

The typology of producers is one of the most used techniques in the design of differentiated programs for the agricultural sector, its success depends on efficiency for optimal stratification. The objective of this study was to compare Dalenius and Hodges' techniques and K-means in terms of relative efficiency for optimal stratification in the typology of agricultural producers in Mexico. The hypothesis was that the technique of Dalenius and Hodges is more efficient than that of K-means. Information from two surveys was analyzed and contrasted; one of them applied to malanga (*Arum esculentum* L.) producers and the other one to cattle farmers with dual-purpose cattle. The information was captured and analyzed in the Statística v. 7 software. The variables analyzed were area, production, wages, and income from the sale of malanga or cattle. Three strata or groups were formed, and by main components were stratified with the first main component and the technique of Dalenius and Hodges, which was contrasted with the of K-means method, located in the module of cluster analysis, at the same Statística interface. For the comparison of the relative efficiency of the variables, the area sown with malanga and size of the ranch (ha), the ratio of the variances of both techniques was used according to the relative efficiency formula. Results showed that both techniques coincided 87.5% in malanga producers and 91.6% in producers with cattle. However, the typology obtained by the Dalenius and Hodges technique is more efficient than that of the K-means method with cluster analysis because it minimizes the variance among strata. This situation is similar to what happens when stratified sampling is used, from which the Dalenius and Hodges technique is derived, aiming to study heterogeneous populations.

* Autor para correspondencia ♦ Author for correspondence.

Recibido: octubre, 2018. Aprobado: agosto, 2019.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 54: 445-457. 2020.

situación es similar a lo que ocurre cuando se utiliza el muestreo estratificado, del cual proviene la técnica de Dalenius y Hodges para estudiar poblaciones heterogéneas.

Palabras clave: eficiencia relativa, tipología de productores, Dalenius y Hodges, K-medias, *Arum esculentum*, bovinos de doble propósito.

INTRODUCCIÓN

En México existe una heterogeneidad de formas en la organización de la producción del sector agropecuario, inclusive en la misma región, principalmente en las características físicas, socioeconómicas y técnicas (Ávila, 2017). Por consecuencia, productores heterogéneos de una misma zona geográfica, no deben tratarse como homogéneos y deben diseñarse políticas agropecuarias diferenciadas. Para ello, se deben utilizar métodos eficientes en la elaboración de las tipologías de productores agropecuarios que identifiquen potenciales y limitaciones (Reyes *et al.*, 2019), además que sean útiles en el diagnóstico de la heterogeneidad de los productores agropecuarios (Leos-Rodríguez *et al.*, 2008) con el propósito de proponer estrategias que mejoren el desarrollo de la agricultura y optimicen la asignación de recursos públicos (Borja *et al.*, 2018).

La identificación de grupos (tipos) con características similares, de acuerdo con Merma y Julca (2012), deberá encontrar varianza mínima dentro de los grupos y varianza mayor entre ellos. La tipología se utiliza en diversas situaciones, por ejemplo para tipificar y caracterizar sistemas de producción como el de malanga efectuado por Gallardo-López *et al.* (2017)⁵, o bien para tipificar productores agrícolas en función del número de jornadas salariales contratadas (CEPAL-SARH, 1981)⁶. Leos-Rodríguez *et al.*, (2008) señalaron que en el ámbito económico-agrícola, las investigaciones de estratificación se conocen como tipología de productores. En cambio, para determinar grupos homogéneos de explotaciones lecheras, Defante *et al.* (2019) la llamaron “sistemas productivos”.

Key words: relative efficiency, typology of producers, Dalenius and Hodges, K-means, *Arum esculentum*, dual-purpose cattle.

INTRODUCTION

In Mexico there is a heterogeneity of forms in the organization of production in the agricultural sector, even in the same region, mainly in the physical, socioeconomic, and technical characteristics (Ávila, 2017). Consequently, heterogeneous producers in the same geographical area should not be treated as homogeneous and differentiated agricultural policies should be designed. To this end, efficient methods must be used to develop typologies of agricultural producers that identify potentials and limitations (Reyes *et al.*, 2019), as well as being useful in diagnosing the heterogeneity of agricultural producers (Leos-Rodríguez *et al.*, 2008) in order to propose strategies that improve agriculture development optimizing the allocation of public resources (Borja *et al.*, 2018).

The identification of groups (types) with similar characteristics, according to Merma and Julca (2012), should find minimal variance within the groups and greater variance between them. The typology is used in various situations, for example, to typify and characterize production systems such as that of malanga carried out by Gallardo-López *et al.* (2017)⁵, or to typify agricultural producers according to the number of wage days contracted (CEPAL-SARH, 1981)⁶. Leos-Rodríguez *et al.*, (2008) pointed out that in the economic-agricultural field, stratification research is known as typology of producers. In contrast, to determine homogeneous groups of dairy farms, Defante *et al.* (2019) called it “productive systems”.

Villa *et al.* (1996) found that when stratifying with cluster analysis, Ward's algorithm (hierarchical type), mean value and centroid, are efficient for the estimation of rare or low-occurrence characteristics. While MacQueen's (1967) algorithm, known as K-means, which is of the non-hierarchical type, tends

⁵ Gallardo-López, F., H. Chalate-Molina, J. Acosta-Jimeno y V. Moreno-Figueroa. 2017. Tipología y caracterización de los sistemas de producción de malanga en los estados de Oaxaca, Tabasco y Veracruz. Reporte técnico del proyecto clave 265427 financiado por el Fondo Sectorial SAGARPA-CONACYT. Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz. México. 46 p.

⁶ Comisión Económica para América Latina – Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. 1981. Tipos de productores agropecuarios. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos - Comisión del Plan Nacional Hidráulico. México. 116 p. https://www.inecc.gob.mx/repositorio/ae3/ae_333.91110972_m495_a-b.pdf

Villa *et al.* (1996) encontraron que al realizar una estratificación con análisis de conglomerados, el algoritmo de Ward (tipo jerárquico), valor medio y centroide, son eficientes para la estimación de características raras o de poca ocurrencia. Mientras que el de MacQueen (1967), conocido como K-medias, el cual es de tipo no jerárquico, tiende a minimizar la variación dentro de estratos, y se asume que maximiza la variación entre los L estratos.

Para realizar la tipología hay diversas propuestas y “han sido comparadas entre sí con base tanto en distribuciones teóricas como empíricas, ninguna de ellas es en todos los casos más eficiente que las demás” (Dallas *et al.*, 1976). Estos mismos autores señalaron que para la estratificación de una sola variable, la propuesta de Dalenius y Hodges (1959) llamada regla $\sqrt{f}$ (donde f es la frecuencia relativa) y la de Ekman (1959), resultaron satisfactorias en la mayoría de los casos, pero la primera es de aplicación más fácil.

Para realizar tipología de productores agropecuarios hay diversos métodos. Unos se centran en las características económicas y sociopolíticas del campesinado latinoamericano (Wolf, 1977), el grado de tecnificación agrícola (Sánchez y Malillos, 1998), el índice de apropiación de tecnología agrícola (Turiján-Altamirano *et al.*, 2015), agrupación por estratos normativos, superficie sembrada y nivel socioeconómico (Córdova, **2009**)⁷, tipo de agricultura familiar con potencial productivo (Yúnez *et al.*, **2013**)⁸ y tipología de acuerdo a la eficiencia energética en los agroecosistemas (Purroy *et al.*, 2016).

En las tipologías de productores se han utilizado métodos multivariados: 1) análisis factorial de correspondencias múltiples para la tipología entre países de América Latina y el Caribe con indicadores estructurales (CEPAL, **1981**)⁹; 2) análisis factorial para identificar 18 tipos de agricultura a nivel municipal (González, 1990); 3) método de Ward (Borja-Bravo *et al.*, 2016); 4) método de K-medias (Chalate-Molina *et al.*, 2010; Carrillo *et al.*, 2011; Vargas-Leitón *et*

to minimize variation within layers, and is assumed to maximize variation among L strata.

There are several proposals for typology and “they have been compared with each other based on both theoretical and empirical distributions, none of which is in all cases more efficient than the others” (Dallas *et al.*, 1976). These same authors pointed out that for the stratification of a single variable, the proposal of Dalenius and Hodges (1959) called the $\sqrt{f}$ rule (where f is the relative frequency) and that of Ekman (1959), were satisfactory in most cases, but the first is easier to apply.

There are several methods to obtain a typology of agricultural producers. Some focus on the economic and socio-political characteristics of the Latin American farming (Wolf, 1977), the degree of agricultural technification (Sánchez and Malillos, 1998), the index of appropriation of agricultural technology (Turiján-Altamirano *et al.*, 2015), grouping by regulatory strata, area sown and socioeconomic level (Córdova, 2009)⁷, type of family farming with productive potential (Yúnez *et al.*, 2013)⁸ and typology according to energy efficiency in agro-ecosystems (Purroy *et al.*, 2016).

Multivariate methods have been used in the typologies of producers: 1) multiple correspondence factor analysis for the typology between Latin American and Caribbean countries with structural indicators (CEPAL, 1981)⁹; 2) factor analysis to identify 18 types of agriculture at municipal level (González, 1990); 3) Ward's method (Borja-Bravo *et al.*, 2016); 4) K-means method (Chalate-Molina *et al.*, 2010; Carrillo *et al.*, 2011; Vargas-Leitón *et al.*, 2013); 5) principal component analysis, and the first principal component was applied the optimal stratification of Dalenius and Hodges (Díaz-Padilla *et al.*, 2012; Castellanos-Potenciano *et al.*, 2015).

One advantage of using the techniques of Dalenius and Hodges and the K-means method is that the first establishes a statistical methodology of

⁷Córdova Martínez, L. G. 2009. Tipología de productores agrícolas del estado de Veracruz. Informe de evaluación. Comité Técnico Estatal de Evaluación. Gobierno del estado de Veracruz. México. 79 p. <http://sagarpa.mx/Delegaciones/veracruz/Documents/Evaluaciones%20Externas/2009/2009%20-%20Tipologia%20de%20Productores%20Agr%C3%ADcola.pdf>

⁸Yúnez, N. A., Y. A. I. Cisneros y P. P. Meza. 2013. Situando la agricultura familiar en México. Principales características y tipología. Informe FAO. Editor-Centro Latinoamericano para el Desarrollo Rural (RIMISP). Santiago de Chile. 45 p. http://portalsiget.net/ArchivosSIGET/recursos/Archivos/1682015_AgriculturaFamiliarM.pdf

²CEPAL (Comisión Económica para América Latina). 1981. Economía campesina y agricultura empresarial: Tipología de productores del agro mexicano. Apéndices metodológicos y estadísticos. CEPAL. México, D.F. 1981. 122 p. <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/25265>

al., 2013); 5) análisis de componentes principales, y al primer componente principal se le aplicó la estratificación óptima de Dalenius y Hodges (Díaz-Padilla *et al.*, 2012; Castellanos-Potenciano *et al.*, 2015).

Una ventaja al utilizar las técnicas de Dalenius y Hodges y el método de K-medias, es que la primera establece una metodología estadística de mejor calidad discriminatoria en la construcción de un indicador, como en el caso del estudio realizado por Chaves (2011). Mientras que para el método de K-medias, Betancourt *et al.* (2005) afirmaron que es relativamente eficiente respecto a la varianza dentro de cada grupo.

Villa *et al.* (1996) explicaron que entre los algoritmos de clasificación propuestos en la literatura, el de Ward (1963) de tipo jerárquico y el de MacQueen (1967) conocido como K-medias, de tipo no jerárquico, minimizan la variación total dentro de estratos o traza de U. Sin embargo, no existe una evaluación de la eficiencia de las técnicas de estratificación, utilizadas en la tipología de productores agropecuarios en México.

Gunning *et al.* (2004) compararon un método geométrico para formar grupos a través de la fórmula de eficiencia relativa con respecto a la técnica de Dalenius y Hodges (1959), y mostraron que ambos métodos tienen aproximadamente la misma eficiencia, lo cual ocurre cuando existe asimetría positiva en los datos de la población o poblaciones estudiadas. Así, el cálculo de la eficiencia relativa es útil para evaluar dos técnicas o métodos de agrupación usados en la tipología de productores agropecuarios.

Con base en lo anterior, se planteó la hipótesis de que con el uso de métodos multivariados, la técnica de Dalenius y Hodges (1959) es más eficiente que el método de K-medias en la elaboración de tipología de productores agropecuarios. El objetivo del estudio fue comparar las técnicas de Dalenius y Hodges y K-medias en términos de la eficiencia relativa para la estratificación óptima en la tipología de productores agropecuarios.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para evaluar la eficiencia de la estratificación óptima se comparó la técnica de Dalenius y Hodges (1959) con la de K-medias, para obtener una tipología de productores agropecuarios. Para Merma y Julca (2012) “la tipología es el resultado de un análisis y de un razonamiento previo con base en observaciones de

better discriminatory quality in the construction of an indicator. This was the case of the study carried out by Chaves (2011). While for the K-means method, Betancourt *et al.* (2005) stated that it is relatively efficient regarding the variance within each group.

Villa *et al.* (1996) explained that among the classification algorithms proposed in the literature, Ward's (1963) hierarchical algorithm and MacQueen's (1967) non-hierarchical K-means algorithm, both minimize the total variation within strata or U-trace. However, there is no efficiency evaluation of the stratification techniques applied in the typology of agricultural producers in Mexico.

Gunning *et al.* (2004) compared a geometric method to form groups through the relative efficiency formula with respect to the technique of Dalenius and Hodges (1959), and showed that both methods have approximately the same efficiency, which occurs when there is positive asymmetry in the data of the population or populations studied. Thus, the calculation of relative efficiency is useful to evaluate two techniques or grouping methods used in the typology of agricultural producers.

Based on the above, it was hypothesized that with the use of multivariate methods, the technique of Dalenius and Hodges (1959) is more efficient than the K-means method in the elaboration of typology of agricultural producers. The objective of the study was to compare Dalenius and Hodges' techniques and K-means in terms of relative efficiency for optimal stratification in the typology of agricultural producers.

MATERIALS AND METHODS

In order to evaluate the efficiency of the optimal stratification, the technique of Dalenius and Hodges (1959) was compared with that of K-means, to obtain a typology of agricultural producers. According to Merma and Julca (2012) “the typology is the result of an analysis and previous reasoning based on field observations and interviews with farmers”. Thus, two surveys and their corresponding databases were used. The first survey was designed and applied by Gallardo-López *et al.* (2017) to producers of malanga (*Arum esculentum* L.) in the states of Oaxaca, Tabasco and Veracruz, Mexico. The second survey, by Cisneros-Saguilan *et al.* (2016), was applied to cattle farmers with dual-purpose cattle in the municipality of Santiago Pinotepa Nacional, Oaxaca, Mexico. In both cases the producer was the study unit.

campo y entrevistas con los agricultores”. Por ello, se utilizaron dos encuestas y sus bases de datos correspondientes. La primera encuesta diseñada y aplicada por Gallardo-López *et al.* (2017) a productores de malanga (*Arum esculentum* L.) en los estados de Oaxaca, Tabasco y Veracruz, México. La segunda, por Cisneros-Saguilán *et al.* (2016), a ganaderos con bovinos de doble propósito del municipio Santiago Pinotepa Nacional, Oaxaca, México. En ambos casos el productor fue la unidad de estudio.

Para realizar la tipología de productores del cultivo de malanga, Gallardo-López *et al.* (2017) utilizaron las variables superficie sembrada (ha), superficie con riego (%), número de jornales utilizados (por ha), producción para la venta (Mg), e ingresos por la venta de malanga (\$ MXN). Para la tipología de ganadería bovina de doble propósito, se consideró superficie del rancho (ha), tamaño del hato (número de bovinos) e ingresos por venta de leche y carne (\$ MXN), obtenidas en un estudio realizado de febrero a julio de 2013, mediante una encuesta aplicada a 155 ganaderos del municipio de Santiago Pinotepa Nacional, Oaxaca; todos ellos beneficiarios del programa de estímulos a la productividad ganadera (PROGAN) en 2010 (Cisneros-Saguilán *et al.*, 2016).

Las variables seleccionadas de las encuestas citadas fueron cinco para cada giro agropecuario (Cuadro 1). La información se organizó en dos bases de datos en el software Statistica v. 7 (StatSoft, Inc., 2004) para analizar y comparar los métodos de K-medias con el de Dalenius y Hodges (1959).

Para generar la estratificación óptima por medio de la técnica de Dalenius y Hodges, se realizó el análisis de componentes principales a las cinco variables del Cuadro 1 con el uso de una matriz de correlaciones y se seleccionó el primer componente principal (CP1) de acuerdo con lo propuesto por Díaz-Padilla *et al.* (2012), Castellanos-Potenciano *et al.* (2015) y D’Orazio y Catanese (2016). Esta técnica consistió en elaborar la tabla de frecuencias y de ella sólo se seleccionaron los intervalos de clase y sus frecuencias. Después se obtuvo la raíz cuadrada, y raíz cuadrada acumulada de la frecuencia [acum $\sqrt{f}$ (y)] (Gunning *et al.*, 2004). Kareem *et al.* (2015) indicaron que “para determinar los límites de los estratos al dividir la raíz cuadrada acumulada total

Gallardo-López *et al.* (2017), to carry out the typology of producers of malanga crop, used the variables area sown (ha), area with irrigation (%), wage quantity used (per ha), production for sale (Mg), and income from the sale of malanga (\$ MXN). For the typology of dual-purpose cattle farming, it was considered ranch area (ha), herd size (number of heads of livestock) and income from the sale of milk and meat (\$ MXN), obtained in a study conducted from February to July 2013, through a survey applied to 155 farmers in the municipality of Santiago Pinotepa Nacional, Oaxaca, Mexico; all of them beneficiaries of the program to stimulate livestock productivity (PROGAN) in 2010 (Cisneros-Saguilán *et al.*, 2016).

The variables selected from the surveys cited were five for each agricultural sector (Table 1). The information was organized in two databases in the Statistica v. 7 software (StatSoft, Inc., 2004) to analyze and compare the K-means methods with that of Dalenius and Hodges (1959).

In order to obtain the optimal stratification using the Dalenius and Hodges technique, the analysis of main components was performed on the five variables in Table 1 using a correlation matrix and the first main component (CP1) was selected as proposed by Díaz-Padilla *et al.* (2012), Castellanos-Potenciano *et al.* (2015) and D’Orazio and Catanese (2016). This technique consisted in elaborating the frequency table and from it only the class intervals and their frequencies were selected. Then the square root was obtained, and the accumulated square root of the frequency [acum $\sqrt{f}$ (y)] (Gunning *et al.*, 2004). Kareem *et al.* (2015) indicated that “to determine the limits of the strata by dividing the total accumulated square root of the frequency by the required number of L strata, the limit should be placed at this division point. This is an approximate solution by Dalenius and Hodges (1959) to the Dalenius (1950) equations”. The upper limit of each stratum according to Gunning *et al.* (2004), was determined with the following expression:

$$Q = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^j \sqrt{f_i} \quad (1)$$

Cuadro 1. Variables utilizadas para la tipología de productores de malanga (*Arum esculentum* L.) y de bovinos de doble propósito.
Table 1. Variables used for the typology of malanga producers (*Arum esculentum* L.) and dual-purpose cattle.

Sistema-producto	
Malanga	Ganado bovino con doble propósito
Superficie sembrada (ha)	Tamaño del rancho (ha)
Superficie con riego (%)	Número de jornales mes ⁻¹
Total de jornales generados por ciclo productivo	Producción anual de leche (L)
Producción para la venta (Mg)	Producción anual becerro en pie (Mg)
Ingresos por la venta de malanga (miles de pesos)	Ingreso total del rancho (miles de pesos)

de la frecuencia por el número requerido de estratos L , el límite se debe colocar en este punto de división. Esta es una solución aproximada de Dalenius y Hodges (1959) a las ecuaciones de Dalenius (1950)¹⁰. El límite superior de cada estrato de acuerdo con Gunning *et al.* (2004), se determinó con la expresión siguiente:

$$Q = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^J \sqrt{f_i} \quad (1)$$

El límite superior de cada estrato, está dado por $Q, 2Q, \dots, (L-1)Q, LQ$;

donde J = número de intervalos de clase; Q es el valor del límite superior del primer estrato obtenido por la técnica de Dalenius y Hodges; L es el número de estratos que se quieren formar; $i=1, 2, \dots, J$

Los grupos o estratos de productores que se usan en una tipología son tres (Merma y Julca, 2012; Castellanos-Potenciano *et al.*, 2015; Borja *et al.*, 2018), cuatro (CEPAL, 1981)¹⁰ o cinco (Sánchez y Malillos, 1998; Chalate-Molina *et al.*, 2010) y debido a que la técnica de Dalenius y Hodges y el método de K-medias requieren que se indique el número de estratos a formar, se consideraron tres. Este número se seleccionó porque Gunning *et al.* (2004) y Er (2012) encontraron que cuando se compara la eficiencia relativa de la técnica de Dalenius y Hodges con respecto al método de estratificación geométrica, al incrementar el número de estratos la eficiencia del método mantiene en lo general el resultado de la evaluación.

Para comparar la eficiencia de la estratificación realizada mediante la técnica de Dalenius y Hodges con respecto a la obtenida por el método de K-medias, se utilizó la fórmula usada por Gunning *et al.* (2004) para calcular la eficiencia relativa (ER) del cociente de las varianzas de ambas técnicas, la cual está dada por la siguiente ecuación:

$$ER = \frac{V_{DH}(\bar{X}st)}{V_{K-medias}(\bar{X}st)} \times 100 \quad (2)$$

Como la población se considera finita, no se utiliza el factor de corrección y la varianza de la media estratificada ($\bar{X}st$) bajo la asignación proporcional (Dalenius y Hodges, 1959; Er, 2012), está dada por: 1

$$V_{DH}(\bar{X}st) = \left[\sum_{i=1}^L W_i S_{i,DH}^2(\bar{X}st)_i \right] / n \quad (3)$$

The upper limit of each stratum is given by $Q, 2Q, \dots, (L-1)Q, LQ$;

where J = number of class intervals; Q is the value of the upper limit of the first stratum obtained through the Dalenius and Hodges technique; L is the number of strata intended to be formed; $i=1, 2, \dots, J$

The groups or strata of producers used in a typology are three (Merma and Julca, 2012; Castellanos-Potenciano *et al.*, 2015; Borja *et al.*, 2018), four (CEPAL, 1981)¹⁰ or five (Sánchez and Malillos, 1998; Chalate-Molina *et al.*, 2010) and because the Dalenius and Hodges technique and the K-means method require to indicate the number of strata to be formed, three were considered. This number was selected because Gunning *et al.* (2004) and Er (2012) found that when comparing the relative efficiency of the Dalenius and Hodges technique to the geometric stratification method, when the number of strata is increased the efficiency of the method generally maintains the evaluation result.

In order to compare the efficiency of the stratification performed by the Dalenius and Hodges technique with that obtained by the K-means method, the formula used by Gunning *et al.* (2004) was applied to calculate the relative efficiency (RE) of the variance ratio of both techniques, which is given by the following equation:

$$ER = \frac{V_{DH}(\bar{X}st)}{V_{K-medias}(\bar{X}st)} \times 100 \quad (2)$$

As the population is considered to be finite, the correction factor is not used and the variance of the stratified mean ($\bar{X}st$) under proportional allocation (Dalenius and Hodges, 1959; Er, 2012), is given by

$$V_{DH}(\bar{X}st) = \left[\sum_{i=1}^L W_i S_{i,DH}^2(\bar{X}st)_i \right] / n \quad (3)$$

$$V_{K-medias}(\bar{X}st) = \left[\sum_{j=1}^L W_j S_{j,K-medias}^2(\bar{X}st)_j \right] / n \quad (4)$$

where L is the number of strata; n is the sample size in stratum i, j .

$W_j = n_j/n$; from the Dalenius and Hodges method and is changed to subscript j when the K-means method is used. n_j is the sample size in stratum j and n is the total sample size.

¹⁰CEPAL (Comisión Económica para América Latina). 1981. Economía campesina y agricultura empresarial: Tipología de productores del agro mexicano. Apéndices metodológicos y estadísticos. CEPAL. México, D.F. 1981. 122 p. <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/25265>

$$V_{K-medias}(\bar{X}st) = \left[\sum_{j=1}^L W_j S_{j,K-medias}^2(\bar{X}st)_j \right] / n \quad (4)$$

donde L es el número de estratos; n es el tamaño de muestra en el estrato i, j .

$W_j = n_j/n$; del método Dalenius y Hodges y se cambia al subíndice j cuando se trata del método K-medias. n_j es el tamaño de muestra del estrato j y n es el tamaño de muestra total.

$V_{DH}(\bar{X}st)_i$ = varianza del estrato i (S^2) obtenido por el método de Dalenius y Hodges.

$Var_{K-medias}(\bar{X}st)_j$ = varianza del estrato j (S^2) obtenido por el método de K-medias.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al comparar la cantidad de productores clasificados en los mismos estratos obtenidos por la técnica de Dalenius y Hodges y con K-medias, coincidieron en 87.5% los productores de malanga y en 91.6%, los productores con bovinos de doble propósito. El comportamiento de la variable superficie (ha) fue similar (Figuras 1 y 2).

$V_{DH}(\bar{X}st)_i$ = variance of the stratum i (S^2) obtained by the Dalenius and Hodges' method.

$Var_{K-medias}(\bar{X}st)_j$ = variance of the stratum j (S^2) obtained by the K-means method.

RESULTS AND DISCUSSION

When comparing the number of producers classified in the same strata obtained by the technique of Dalenius and Hodges and with K-means, it coincided 87.5% in producers of malanga and 91.6% in the producers with dual-purpose cattle. The behavior of the variable area (ha) was similar (Figures 1 and 2).

The new strata of malanga producers (Table 1) and dual-purpose cattle producers (Table 2) were obtained by dividing the square root of the producer frequencies by three, considering the class intervals of the first main component (CP1).

The analysis of the malanga producer typology data (Table 4) describes the variability between strata (CV) and the variance used in the calculation of relative efficiency.

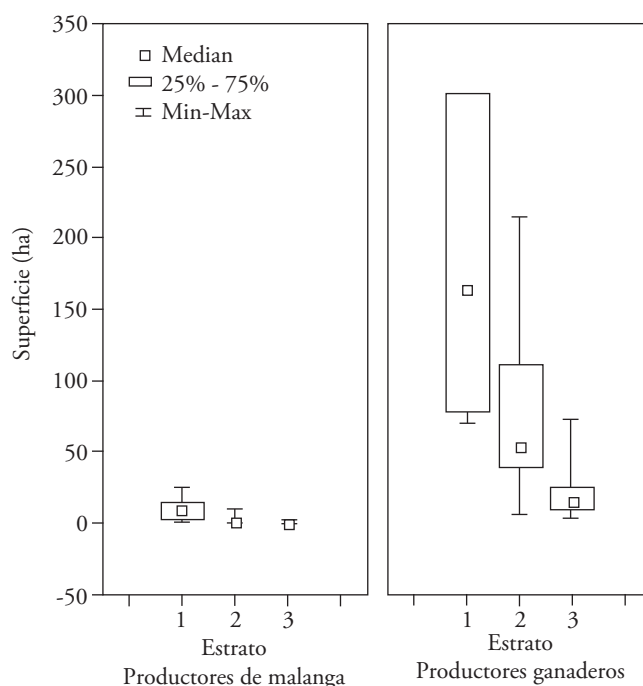


Figura 1. Comportamiento de los estratos generados por la técnica de Dalenius y Hodges para las variables superficie sembrada con malanga (*Arum esculentum* L.) y superficie dedicada a la ganadería de doble propósito.

Figure 1. Behavior of the strata generated by the Dalenius and Hodges technique for the variables area sown with malanga (*Arum esculentum* L.) and area dedicated to dual-purpose livestock.

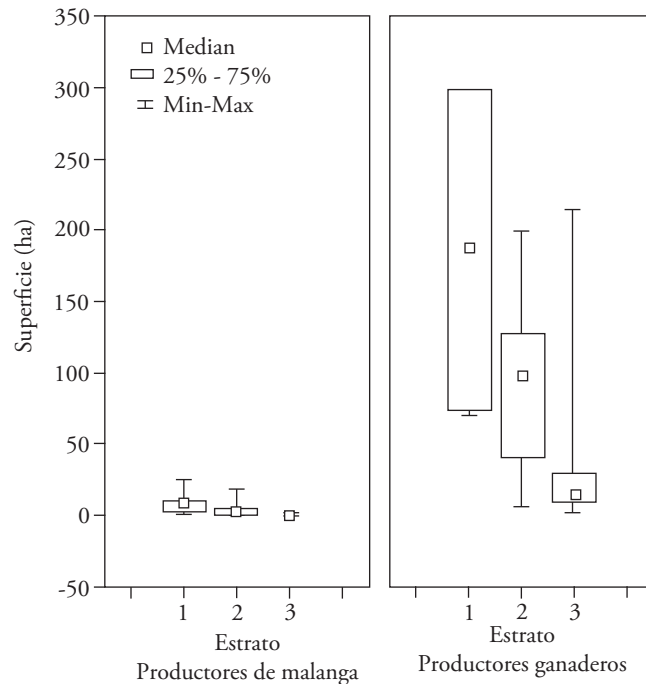


Figura 2. Comportamiento de los estratos generados por el método de K-medias para las variables superficie sembrada con malanga (*Arum esculentum* L.) y superficie dedicada a la ganadería de doble propósito.

Figure 2. Behavior of the strata generated by the K-means method for the variables area sown with malanga (*Arum esculentum* L.) and area dedicated to dual-purpose livestock.

Los nuevos estratos de productores de malanga (Cuadro 1) y productores con bovinos de doble propósito (Cuadro 2) se obtuvieron al dividir entre tres la raíz cuadrada de las frecuencias de productores, para considerar los intervalos de clase del primer componente principal (CP1).

The relative efficiency of the stratification methods by Dalenius and Hodges (1959) and K-means, for the variable area sown with malanga (ha), was calculated with the following equation:

$$ER = \frac{V_{DH}(\bar{X}_{st})}{V_{K-medias}(\bar{X}_{st})} \times 100 = \frac{0.16940}{0.26747} \times 100 = 63.33\% \quad (5)$$

Cuadro 2. Tipología de productores de malanga (*Arum esculentum* L.) de los estados de Oaxaca, Tabasco y Veracruz, por medio de la técnica de Dalenius y Hodges en la variable CP1.

Table 2. Typology of malanga (*Arum esculentum* L.) producers in the states of Oaxaca, Tabasco and Veracruz, Mexico; using the technique of Dalenius and Hodges in the variable CP1.

Intervalo de clase	Frecuencia de productores	Raíz (frecuencia)	Raíz acumulada (frecuencia)	Grupo nuevo
$-4 < x \leq -3$	3	1.7321	1.7321	1
$-3 < x \leq -2$	6	2.4495	4.1815	1
$-2 < x \leq -1$	12	3.4641	7.6456	2
$-1 < x \leq 0$	8	2.8284	10.4741	2
$0 < x \leq 1$	10	3.1623	13.6363	2
$1 < x \leq 2$	13	3.6056	17.2419	3
$2 < x \leq 3$	12	3.4641	20.7060	3

Cuadro 3. Tipología de productores de bovinos de doble propósito del municipio Santiago Pinotepa Nacional, Oaxaca, México; por medio de la técnica de Dalenius y Hodges en la variable CP1.

Table 3. Typology of dual-purpose cattle producers in the municipality of Santiago Pinotepa Nacional, Oaxaca, Mexico; using the technique of Dalenius and Hodges in the variable CP1.

Intervalo de clase	Frecuencia de productores	Raíz (frecuencia)	Raíz acumulada (frecuencia)	Grupo nuevo
-7<x<=-6	1	1	1	1
-6<x<=-5	1	1	2	1
-5<x<=-4	1	1	3	1
-4<x<=-3	1	1	4	1
-3<x<=-2	2	1.4142	5.4142	1
-2<x<=-1	7	2.6458	8.0599	2
-1 <x<= 0	15	3.8730	11.9329	2
0 <x<= 1	127	11.2694	23.2024	3

Con el análisis de los datos de la tipología de productores de malanga (Cuadro 4) se describe la variabilidad entre estratos (CV_i) y la varianza usada en el cálculo de la eficiencia relativa.

La eficiencia relativa de los métodos de estratificación de Dalenius y Hodges (1959) y K-medias, para la variable superficie sembrada de malanga (ha), se calculó con la ecuación siguiente:

$$ER = \frac{V_{DH}(\bar{X}st)}{V_{K-medias}(\bar{X}st)} \times 100 = \frac{0.16940}{0.26747} \times 100 = 63.33\% \quad (5)$$

From the reason obtained, it can be deduced that the technique of Dalenius and Hodges was 36.67% more efficient than the K-means method to carry out the typology of malanga cultivation producers in the states of Oaxaca, Tabasco and Veracruz. This was complemented by the coefficients of variation, which in strata 1 and 2 were also lower with the technique of Dalenius and Hodges.

Then, variances were calculated with both methods for the variable ranch size, in dual-purpose cattle units (Table 5).

Cuadro 4. Estadística descriptiva de la superficie sembrada de malanga (*Arum esculentum* L.) (ha), obtenidas para cada estrato por la técnica de Dalenius y Hodges y por el método de K-medias.

Table 4. Descriptive statistics of the area sown with malanga (*Arum esculentum* L.) (ha), obtained for each stratum using the Dalenius and Hodges technique and the K-means method.

Estrato	$n_i^\dagger$	$W_i = n_i/n$	Media	Varianza	W_i (Varianza)	CV_i
Dalenius y Hodges						
1	9	0.1406	10.2222	67.4452	9.4845	0.80
2	30	0.4688	2.5417	2.8284	1.3258	1.11
3	25	0.3906	0.1531	0.0805	0.0314	1.85
n =	64			$V_{DH}(\bar{X}st) =$	0.1694	
K-medias						
1	5	0.0781	9.6000	92.3000	7.2109	1.00
2	30	0.4688	3.9333	21.0299	9.8578	1.17
3	29	0.4531	0.2096	0.1091	0.0495	1.58
n =	64			$V_{KM}(\bar{X}st) =$	0.2675	

† Datos en la encuesta a productores de malanga, para el análisis de la tipología ♦ Data in the survey applied to malanga producers for the typology analysis.

De la razón obtenida se colige que la técnica de Dalenius y Hodges fue 36.67% más eficiente que el método de K-medias para realizar la tipología de productores del cultivo de malanga de los estados de Oaxaca, Tabasco y Veracruz. Esto se complementó con los coeficientes de variación, que en los estratos 1 y 2 también fueron menores con la técnica de Dalenius y Hodges.

Luego, las varianzas se calcularon con ambos métodos para la variable tamaño del rancho, en las unidades de bovinos de doble propósito (Cuadro 5).

Para el cálculo de la eficiencia relativa de los métodos de estratificación de Dalenius y Hodges y K-medias con la variable tamaño del rancho (ha), se obtuvo lo siguiente:

$$ER = \frac{V_{DH}(\bar{X}_{st})}{V_{K-medias}(\bar{X}_{st})} \times 100 = \frac{6.05056}{8.35487} \times 100 = 72.42\%$$

Por lo tanto, la técnica de Dalenius y Hodges fue 27.58% más eficiente que el método de K-medias en la variable tamaño del rancho (ha), para la estratificación de productores de bovinos de doble propósito del municipio Santiago Pinotepa Nacional, Oaxaca.

De acuerdo con D'Orazio y Catanese (2016) quienes señalaron como variables para estratificar información geográfica, el tipo de cultivar y algunas medidas del tamaño de las granjas; en esta investigación se usaron la superficie sembrada de malanga (ha) y el tamaño del rancho (ha). Los resultados mostraron que en la elaboración de la tipología de

For the calculation of the relative efficiency of the Dalenius and Hodges and K-means stratification methods with the variable ranch size (ha), the following was obtained:

$$ER = \frac{V_{DH}(\bar{X}_{st})}{V_{K-medias}(\bar{X}_{st})} \times 100 = \frac{6.05056}{8.35487} \times 100 = 72.42\%$$

Therefore, the Dalenius and Hodges technique was 27.58% more efficient than the K-media method in the variable ranch size (ha), for the stratification of dual-purpose cattle producers in the municipality of Santiago Pinotepa Nacional, Oaxaca.

According to D'Orazio and Catanese (2016) who pointed out as variables to stratify geographic information the type of crop and some measures of the size of the farms; in this research the area planted with malanga (ha) and the size of the ranch (ha) were used. The results showed that in the elaboration of the typology of producers, the same relative efficiency was not obtained for malanga and dual-purpose cattle producers. Ward (1963) indicated that a hierarchical arrangement is not always necessary for best group partitioning, although it is preferable in many practical situations; and MacQueen (1967) mentioned that there is no general feasible method that will always produce optimal partitioning for forming the K groups of the N element population.

There are no studies that evaluate the efficiency of stratification methods to perform the typology of agricultural producers, and it is very difficult to

Cuadro 5. Estadística descriptiva de la variable tamaño del rancho (ha), obtenida por método de estratificación y por estrato, de la encuesta a productores de bovinos con doble propósito.

Table 5. Descriptive statistics of the variable ranch size (ha), obtained by stratification method and by stratum, from the survey of producers with dual-purpose cattle.

Estrato	n_i	$W_i = n_i/n$	Media	Varianza	W_i (Varianza)	CV_i
Dalenius y Hodges						
1	6	0.0387	179.1667	10921.7758	422.7710	0.58
2	22	0.1419	75.7273	2657.4437	377.1869	0.68
3	127	0.8194	19.2240	168.2772	137.8788	0.68
n =	155			$V_{DH}(\bar{X}_{st}) =$	6.0506	
K-medias						
1	4	0.0258	186.7500	17108.9278	441.5301	0.70
2	13	0.0839	87.3846	3307.7567	277.4249	0.66
3	138	0.8903	23.9091	647.0120	576.0496	1.06
n =	155			$V_{KM}(\bar{X}_{st}) =$	8.3549	

productores no se obtuvo la misma eficiencia relativa para los productores de malanga y los de bovinos con doble propósito. Ward (1963) indicó que un arreglo jerárquico no siempre es necesario para la mejor partición en grupos, aunque es preferible en muchas situaciones prácticas; y MacQueen (1967) mencionó que no existe un método general factible que siempre produzca una partición óptima para formar los K grupos de la población de N elementos.

No hay estudios que evalúen la eficiencia de los métodos de estratificación para realizar la tipología de productores agropecuarios, y es muy difícil encontrar los límites de los estratos, los que a su vez deben minimizar la varianza de las medias de los estratos obtenidos por el método de Dalenius y Hodges (Er, 2012). El mismo autor comparó la estratificación con el cálculo de la eficiencia relativa de los métodos de Lavallée e Hidiroglou (1988) y Kozak (2004), con poblaciones heterogéneas, datos extremos, valores de desviación estándar altos, media aritmética, coeficiente de asimetría y kurtosis. La eficiencia relativa menor al 100% se debe a que por lo común el procedimiento de K-medias no converge en una partición óptima al realizar K grupos de una población de dimensión N (MacQueen, 1967), pero la técnica de Dalenius y Hodges (1959) fue más eficiente.

En métodos de estratificación con poblaciones sesgadas (asimetría positiva) y comparados con la estratificación geométrica, Gunning *et al.* (2004) encontraron que la eficiencia relativa de este método con respecto al de Dalenius y Hodges (1959) fue similar. Sin embargo, Lavallée y Hidiroglou (1988) indicaron que “cuando las poblaciones son altamente sesgadas, el método de Dalenius y Hodges no es realista para calcular los límites de los estratos”, y el método que recomiendan es el algoritmo, que es una combinación de los procedimientos de Hidiroglou (1986).

Lavallée y Hidiroglou (1988) utilizaron tres poblaciones con coeficiente de asimetría de 24.2 (Población I), 6.5 (Población 2) y 13.6 (Población 3). En cambio, los coeficientes de asimetría de nuestro estudio para la encuesta a productores de malanga fue 2.7, y para productores con bovinos de doble propósito fue 3.7; es decir mucho menores a los ejemplos de poblaciones altamente sesgadas. D’Orazio y Catanese (2016) indicaron que las variables utilizadas

find the limits of the strata, which in turn should minimize the variance of the means of the strata obtained by the method of Dalenius and Hodges (Er, 2012). The same author compared stratification with the calculation of relative efficiency of the Lavallée and Hidiroglou (1988) and Kozak (2004) methods, with heterogeneous populations, extreme data, high standard deviation values, arithmetic mean, asymmetry coefficient and kurtosis. A relative efficiency lesser than 100% is due to the fact that the K-means procedure does not usually converge into an optimal partition when performing K groups of an N dimension population (MacQueen, 1967), but the technique of Dalenius and Hodges (1959) was more efficient.

In stratification methods with biased populations (positive asymmetry) and compared with geometric stratification, Gunning *et al.* (2004) found that the relative efficiency of this method in relation to that of Dalenius and Hodges (1959) was similar. However, Lavallée and Hidiroglou (1988) indicated that “when populations are highly skewed, the method of Dalenius and Hodges is not realistic for calculating the limits of the strata”, and the method they recommend is the algorithm, which is a combination of the procedures of Hidiroglou (1986).

Lavallée and Hidiroglou (1988) used three populations with asymmetry coefficients of 24.2 (Population I), 6.5 (Population 2) and 13.6 (Population 3). In contrast, the asymmetry coefficients of our study for the survey of malanga producers was 2.7, and for producers with dual-purpose cattle it was 3.7; that is, much lower than the examples of highly biased populations. D’Orazio and Catanese (2016) indicated that the variables used in the stratification in business and agriculture present a high asymmetry coefficient.

Finally, this agrees with Leos-Rodríguez *et al.* (2008), who mentioned that “a study of stratification of the population in the rural sector can be an instrument for planning, operating, monitoring and evaluating government programs, and at the same time can allow for better targeting of programs and their components”. With this, it is possible to increase the impact of the support provided, by means of the granting of differentiated support, according to the needs of producers in each stratum.

para la estratificación en negocios y agricultura presentan un coeficiente de asimetría alto.

Finalmente, se coincide con Leos-Rodríguez *et al.* (2008), quienes mencionaron que “un estudio de estratificación de la población del sector rural puede ser un instrumento de planeación, operación, seguimiento y evaluación de los programas gubernamentales, y al mismo tiempo puede permitir focalizar de mejor manera los programas y sus componentes”. Con esto se logra incrementar los impactos de los apoyos brindados, por medio del otorgamiento de apoyos diferenciados, según las necesidades de los productores en cada uno de los estratos.

CONCLUSIONES

La tipología de productores obtenida por la técnica de Dalenius y Hodges fue más eficiente que la del método de K-medias del análisis de conglomerados, debido a que minimizó la varianza entre estratos de productores de malanga y también, de ganaderos con bovinos de doble propósito.

Esta situación es similar a lo que ocurre cuando se aplica el muestreo estratificado, origen de la estratificación con la técnica de Dalenius y Hodges para estudiar poblaciones heterogéneas.

LITERATURA CITADA

- Ávila-Foucat, V. S. 2017. Desafíos del sector primario y políticas públicas sustentables. *Economía Informa* 402: 29-39. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecin.2017.01.003>
- Betancourt, K., M. Ibrahim, C. Villanueva, y B. Vargas. 2005. Caracterización del manejo productivo de sistemas lecheros en la cuenca del río Bulbul de Matiguás, Matagalpa, Nicaragua. *Livestock Res. Rural Develop.* 17: 1-12. <http://www.lrrd.org/lrrd17/7/beta17080.htm>
- Borja B., M., I. A. Vélez, y G. J. L. Ramos. 2018. Tipología y diferenciación de productores de guayaba (*Psidium guajava* L.) en Calvillo, Aguascalientes, México. *Región y Sociedad* 30: 1-22. <https://doi.org/10.22198/rys.2018.71.a402>
- Borja-Bravo, M., L. Reyes-Muro, J. A. García-Salazar, y S. X. Almeraya-Quintero. 2016. Tipología de productores de uva (*Vitis vinifera* L.) en Aguascalientes, México. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 7: 249-261. <https://doi.org/10.29312/remex-ca.v7i2.341>
- Carrillo, L. B., L. V. H. Moreira, y V. J. González. 2011. Caracterización y tipificación de sistemas productivos de leche en la zona centro-sur de Chile: un análisis multivariable. *IDESIA (Arica)* 29: 71-81. https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-34292011000100010
- Castellanos-Potenciano, B., F. Gallardo-López, G. Díaz-Padilla, A. Pérez-Vázquez, C. Landeros-Sánchez, and A. Sol-Sánchez. 2015. Apiculture in the humid tropics: Socio-economic

CONCLUSIONS

The typology of producers obtained by the Dalenius and Hodges technique was more efficient than that of the K-means method of cluster analysis, because it minimized the variance among strata of malanga producers and also, of dual-purpose cattle breeders.

This situation is similar to what happens when stratified sampling is applied, which is the origin of the stratification with the Dalenius and Hodges technique to study heterogeneous populations.

—End of the English version—



- stratification and beekeeper production technology along the Gulf of Mexico. *Glob. Sci. Res. J.* 3: 321-329. <https://www.globalscienceresearchjournals.org/gjaerd/255702015992>
- CEPAL (Comisión Económica para América Latina). 1982. Economía campesina y agricultura empresarial: Tipología de productores del agro mexicano. CEPAL. México, D.F. 1981. 122 p. <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/25265>
- CEPAL-SARH. 1981. Tipos de productores agropecuarios. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos - Comisión del Plan Nacional Hidráulico. México. 116 pp. https://www.inecc.gob.mx/repositorio/ae3/ae_333.91110972_m495_a-b.pdf
- Chalate-Molina, H., F. Gallardo-López, P. Pérez-Hernández, F. P. Lang-Ovalle, E. Ortega-Jiménez, y J. Vilaboa-Arroniz. 2010. Características del sistema de producción bovinos de doble propósito en el estado de Morelos, México. *Zootec. Trop.* 28: 329-339. www.bioline.org.br/pdf/zt10033
- Chaves, J. R. 2011. Determinación de áreas potenciales para promocionar el periódico Semanario. *Rev. Geográfica América Central.* 2: 1-15. <http://www.redalyc.org/pdf/4517/451744820800.pdf>
- Cisneros-Saguilán, P., F. Gallardo-López, S. López-Ortiz, O. Ruiz-Rosado, J. G. Herrera-Haro, y E. Hernández-Castro. 2016. Cumplimiento de la norma para ganadería sostenible en diversos ranchos de la costa de Oaxaca. In: Gallardo-López F. (ed). *Innovando el Agro Veracruzano 2016 - Frente a los retos de la relación Sociedad-Naturaleza*. Colegio de Postgraduados. Veracruz, México. Pp: 765-790.
- Córdova M., L. G. 2009. Tipología de productores agrícolas del estado de Veracruz. SAGARPA. Veracruz, México. 79 p. <http://sagarpa.mx/Delegaciones/veracruz/Documents/Evaluaciones%20Externas/2009/2009%20-%20Tipologia%20de%20Productores%20Agr%C3%ADcola.pdf>
- Dalenius, T. 1950. The problem of optimum stratification. *Scandinavian Actuarial J.* 3-4: 203-13. <https://doi.org/10.1080/03461238.1950.10432042>

- Dalenius, T., and J. L. Hodges. 1959. Minimum variance stratification. *J. Am. Stat. Assoc.* 54: 88-101. doi: 10.2307/2282141
- Dallas, W. A., L. Kish, and R. G. Cornell. 1976. Quantifying gains from stratification for optimum and approximately optimum strata using a bivariate normal model. *J. Am. Stat. Assoc.* 71: 887-892. doi: 10.1080/01621459.1976.10480964
- D'Orazio, M., and E. Catanese. 2016. A simple approach for stratification of units in multipurpose in business and agriculture surveys. *Istat Working Papers*. Istituto Nazionale di Statistica. Roma, Italia. 18 p. <https://www.istat.it/it/archivio/185685>
- Defante, L., J. C., Damasceno, F. I., Bánkuti, and C. E. C. O. Ramos. 2019. Typology of dairy production systems that meet Brazilian standards for milk quality. *Rev. Bras. Zootec.* 48: 1-8. <https://dx.doi.org/10.1590/rbz4820180023>
- Díaz-Padilla, G., I. Sánchez-Cohen, R. A. Guajardo P., F. Barbosa-Moreno, M. Gómez C., y J. M. Uribe B. 2012. Modelación espacial de la producción de agua y escurrimiento superficial del agua de lluvia en la zona sur del estado de Puebla, México. *Tecnol. Cienc. Agua.* 3: 69-85. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=353531980005>
- Ekman, G. 1959. An approximation useful in univariate stratification. *Ann. Mathem. Stat.* 30: 219-229. doi:10.1214/aoms/1177706377
- Er, S. 2012. Comparison of the efficiency of the various algorithms in stratified sampling when the initial solutions are determined with geometric method. *Int. J. Stat. Applic.* 2: 1-10. doi: 10.5923/j.statistics.20120201.01
- Gallardo-López, F., H. Chalate-Molina, J. Acosta-Jimeno, y V. Moreno-Figueroa. 2017. Tipología y caracterización de los sistemas de producción de malanga en los estados de Oaxaca, Tabasco y Veracruz. Reporte técnico del proyecto clave 265427 financiado por el Fondo Sectorial SAGARPA-CONACYT. Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz. México. 46 p.
- González, E. A. 1990. Los tipos de agricultura y las regiones agrícolas de México. Editorial Colegio de Postgraduados. Texcoco, Estado de México. 140 p. <http://bibliotecasibe.ecosur.mx/sibe/book/000007239>
- Gunning, P., J. M. Horgan and, W. Yancey. 2004. Geometric stratification of accounting data. *Contaduría y Administración.* 214: 0. http://www.redalyc.org/pdf/395/Resumenes/Abstract_39521402_2.pdf
- Hidirolou, M. A. 1986. The construction of a self-representing stratum of large units in survey design. *Am. Stat.* 40: 27-31. <https://www.jstor.org/stable/2683113>
- Kareem, A. O., G. M. Oyeyemi, and A. B. Aiyelabegan. 2015. A note on the efficiency of geographic Sstratification. *Int. J. Math. Stat. Invention.* 3: 1-10. <https://www.ijmsi.org/Papers/Volume.3.Issue.4/A03401010.pdf>
- Kozak, M. 2004. Optimal stratification using random search method in agricultural surveys. *Stat. Transition.* 6: 797-806. <https://pdfs.semanticscholar.org/3559/96951658d08596a44a63a36643b87937eec9.pdf>
- Lavallée, P., y M. A. Hidirolou. 1988. On the stratification of skewed populations. *Survey methodology.* 14: 33-43. <https://www150.statcan.gc.ca/n1/en/catalogue/12-001-X198800114602>
- Leos-Rodríguez, J. A., A. Serrano-Páez, J. M. Salas-González, P. P. Ramírez-Moreno, y M. Sagarnaga-Villegas. 2008. Caracterización de ganaderos y unidades de producción pecuaria beneficiarios del programa de estímulos a la productividad ganadera (PROGAN) en México. *Agric. Soc. Desarrollo.* 5: 214-230. www.redalyc.org/articulo.oa?id=360533080005
- MacQueen, J. 1967. Some methods for classification and analysis of multivariate observations. In: Cam, L., and J. Neyman (eds). *Proceedings of the Fifth Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability, Volume 1: Theory of Statistics.* University of California Press. Berkeley, LA, USA. pp: 281-297.
- Merma, I., y A. Julca. 2012. Tipología de productores y sostenibilidad de cultivos en Alto Urubamba, La Convención-Cusco. *Scientia Agropecuaria.* 3: 149-159. <http://revistas.unitru.edu.pe/index.php/scientiaagrop/article/view/79>
- Purroy-Vásquez, R., F. Gallardo-López, P. Díaz-Rivera, E. Ortega-Jiménez, S. López-Ortiz, y G. Torres-Hernández. 2016. Flujo energético-económico como herramienta para tipificar agroecosistemas en el centro del estado de Veracruz, México. *Ecosist. Recursos Agropec.* 3: 91-101. <http://era.ujat.mx/index.php/rera/article/view/730>
- Reyes, V. C., B. I. S., Toledano, M. B., Bravo, A. E., García, M. S., Montes, A. I. B., Rodríguez, y M. J. S., García. 2019. Caracterización de la producción de maguey en el Distrito de Miahuatlán, Oaxaca. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 10: 365-377. <https://cienciasagricolas.inifap.gob.mx/index.php/v10n2-012>
- Sánchez, S., y R. Malillos. 1998. Diseño de una tipología agrícola y su aplicación al caso de la agricultura morelense. *Geografía y Desarrollo.* 16: 5-26. <https://biblat.unam.mx/es/revista/geografia-y-desarrollo/articulo/disenio-de-una-tipologia-agricola-y-su-aplicacion-al-caso-de-la-agricultura-morelense>
- StatSoft, Inc. 2004. *Statistica (data analysis software system) version 7.* StatSoft Inc.: Tulsa, OK, USA.
- Turiján-Altamirano, T., B., Ramírez-Valverde, M. Á., Damián-Huato, J. P., Juárez-Sánchez, y N., Estrella-Chulím. 2015. Uso de remesas para la adquisición de tecnología agrícola en maíz en San José Chiapa, Puebla, México. *Nova scientia.* 7: 674-693. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-07052015000200674
- Vargas-Leitón, B., O. Solís-Guzmán, F. Sáenz-Segura, y H. León-Hidalgo. 2013. Caracterización y clasificación de hatos lecheros en Costa Rica mediante análisis multivariado. *Agron. Mesoam.* 24: 257-275. http://www.mag.go.cr/rev_meso/v24n02_257.pdf
- Villa P., A., L. Iglesias M., y L. A. Flores. 1996. Estratificación multivariante: Criterios de evaluación. *Estadística Española.* 38: 19-35. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6639>
- Ward Jr., J. H. 1963. Hierarchical grouping to optimize an objective function. *J. Am. Stat. Assoc.* 58: 236-244. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01621459.1963.10500845>
- Wolf, E. R. 1977. Una tipología del campesinado latinoamericano. Colombres C., G. (tr). e I. Garreta M. (cotr). Editor Nueva Visión. Buenos Aires, Argentina. 100 p. <http://bibliotecasibe.ecosur.mx/sibe/book/000001148>
- Yúnez, N. A., Y. A. I. Cisneros, y P. P. Meza. 2013. Situando la agricultura familiar en México. Principales características y tipología. Informe FAO. Editor-Centro Latinoamericano para el Desarrollo Rural (RIMISP). Santiago de Chile. 45 p. http://portalsiget.net/ArchivosSIGET/recursos/Archivos/1682015_AgriculturaFamiliarM.pdf