

# Cacahuacintle maize. Determination and characterization of cultivation areas in Mexico

Juan Velázquez López<sup>1</sup>

José Pedro Juárez Sánchez<sup>2\*</sup>

Benito Ramírez-Valverde<sup>2</sup>

Ignacio Ocampo Fletes<sup>2</sup>

Juan Jiménez Morales<sup>2</sup>

Gustavo Ramírez Valverde<sup>3</sup>

## Abstract

The objective of this research was to evaluate the potential of agricultural regions with aptitude to cultivate cacahuacintle maize (*Zea mays* sp) in Mexico through models based on agro-climatic variables. Through statistical pooling and cluster analysis by production variables and their value, agricultural regions with potential were established: high, medium and low. The potential area was 1 634 137 624 ha, it is located in central Mexico and constitutes the 17 % of the national agricultural area and 28 % of the area sown with corn in 2020. The cacahuacintle represents a value of 1 959 898 561 dollars. Type "C" climates with their different variations were the most frequent and the most recurrent precipitation was 800-1500 mm per year. The most abundant soils were: Vertisol Pelic "VP" (14.45 %) Feozem Haplico "Hh" (13.38 %), Eutric Regosol "Re" (10.36 %), Luvisol (14.05 %); "Lf" Ferric (8.70 %) and Chromic Luvisol "Lc" (8.7 %) and Humic Andosol "Th" 10.18 % Ocric Andosol, "To" 6.83 %, Molic Andosol, "Tm" 0.97 %, Litosol "It" 4.64 %, Rendzine "E" (2.51 %), Eutric Cambisol "Be" (3.45 %). It corresponds to 79.85 % of the surface where it could be cultivated. The potential for this crop is in rained regions in the country center. The region one in Michoacán-Jalisco has the greatest potential, but it is strongly recommended to implement policies for the production of cacahuacintle in regions with less aptitude and where the lowest economic income of grain corn was recorded.

**Keywords:** Simulation model, cluster analysis, statistical pooling, agricultural potential area, regions.

## El maíz cacahuacintle. Determinación y caracterización de zonas de cultivo en México

## Resumen

El objetivo de la investigación fue evaluar mediante modelos basados en variables agroclimáticas el potencial de regiones agrícolas con aptitud para cultivar maíz cacahuacintle (*Zea mays* sp) en México. Mediante agrupación estadística y análisis de conglomerados por variables de producción y valor de esta, se establecieron regiones agrícolas con potencial: alto, mediano y bajo. La extensión potencial fue 1 634 137 624 ha, ubicadas en el centro de México que representan, el 17 % de la superficie agrícola nacional y el 28 % de la superficie sembrada de maíz grano en 2020. El cacahuacintle representa un valor de 1 959 898 561 dólares. Los climas de tipo "C" con sus diferentes variaciones fueron los más frecuentes y la precipitación más recurrente fue de 800-1500 mm anuales. Los suelos más abundantes fueron: Vertisol Pélico "VP" (14.45 %) Feozem Haplico "Hh" (13.38 %), Regosol Eútrico "Re" (10.36 %), Luvisol (14.05 %); "Lf" Ferríco (8.70 %) y Luvisol Crómico "Lc" (8.7 %) y Andosol Húmico "Th" 10.18 % Andosol Ócrico, "To" 6.83 %, Andosol Mólico, "Tm" 0.97 %, Litosol "It" 4.64 %, Rendzina "E" (2.51 %), Cambisol Eutríco "Be" (3.45 %). Corresponde al 79.85 % de la superficie donde podría cultivarse. El potencial para este cultivo está en regiones de temporal del centro del país. La región uno en Michoacán-Jalisco tiene el mayor potencial, pero, se recomienda implementar políticas para la producción de cacahuacintle en regiones con menor aptitud y en donde se registró el menor ingreso económico por maíz grano.

**Palabras clave:** Modelo de simulación, análisis de conglomerados, agrupación estadística, área potencial agrícola, regiones.

<sup>1</sup>Colegio de Posgraduados, Programa de Estrategias para el Desarrollo Agrícola Regional, Boulevard Forjadores de Puebla núm. 205, C.P. 72760, Puebla, México.

<sup>2</sup>Colegio de Posgraduados Campus Puebla, Boulevard Forjadores de Puebla núm. 205, Santiago Momoxpan, C.P. 72760, Puebla, México.

<sup>3</sup>Colegio de Posgraduados Campus Montecillo, Carretera México-Texcoco, km 36.5, Montecillo, C. P. 56230 Montecillo, Texcoco, Edo. de México, México.

\*Corresponding author: pjjuarez@colpos.mx

## Introduction

White maize cultivation is very important in Mexico because it has industrial, economic, sociocultural uses, in addition, it is constituted in the basis of the national population diet (Jácome, 2016). Despite this, in seasonal spaces, its production is in crisis due to the neoliberal economic politics (Appendini, 2013). In this context, the cacahuacintle is one of the maize races which, because of its sociocultural and economic significance, has a premium price in the market and it could be a compensation alternative in some rural areas within the center of the country (Román, E., García, F., Guzmán, E., & Ayala, M. I., 2016). It is important to highlight that the climatic, soil and height above sea level conditions limit its production. Moreover, there is no knowledge about its geographical distribution and the cultivated area at global scale, but there is evidence of its presence in Guatemala, Perú and Colombia (Perales, 2009).

A pioneering research developed by Welhausen E., Roberts, M. and Hernández X. (1951), classified and identified the distribution of maize races in Mexico by determining that the cacahuacintle crop was mainly produced in high lands, with semi-cold climate and volcanic soils of the states of Puebla, Tlaxcala and Mexico (Figure 1). Nowadays, there is evidence of crops in Chihuahua, Michoacán, México, Morelos, Tlaxcala, Puebla, Veracruz and Mexico City (CONABIO, 2010), Jalisco (Ron et al., 2006), Guerrero (Palemón et al., 2011) and Chiapas (Coutiño B., Vidal, V., Cruz, C., & Gómez, M., 2015). It can be said that the knowledge about the areas with productive potential is poor, insufficient and out of date in the country, because there are no studies focused on the proper agro-climatic characteristics and type of soil to grow it, in addition to the economic-productive aspects of different territories.

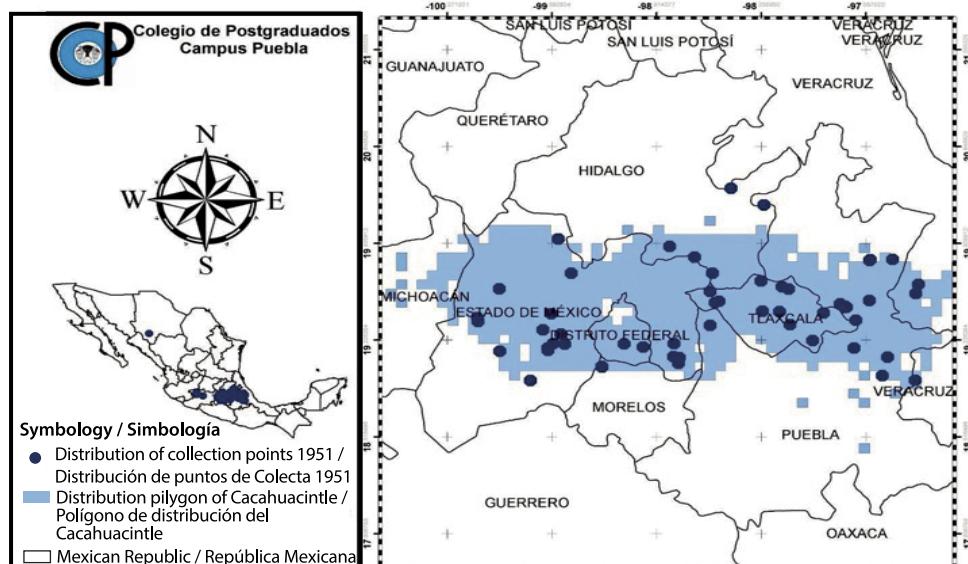
Consequently, the contributions to create a methodology, as well as the proper exploitation of areas with productive potential when developing detailed researches (Santiago M. & García J., 2001), are important. Likewise, its protection as native race is promoted, its production increases (Sarmiento B. & Castañeda, Y., 2011) and it helps to improve living conditions of farmer and indigenous populations (Quevedo D., Cervantes, J., Noriero, L., & Zepeda, J. 2017). Thus, the discrepancy of the economic

## Introducción

En México es muy importante el cultivo del maíz blanco, al conferírsele usos industriales, económicos, socioculturales, además de constituirse en la base de la alimentación de la población nacional (Jácome, 2016). A pesar de ello, en los espacios de temporal su producción está en crisis, producto de las políticas económicas neoliberales (Appendini, 2013). En este contexto, el cacahuacintle es una de las razas de maíz que por su trascendencia sociocultural y económica posee un sobreprecio en el mercado y podría ser una alternativa de compensación en algunas regiones rurales del centro del país (Román, E., García, F., Guzmán, E., & Ayala, M. I., 2016). Es de destacar que las condiciones de clima, suelo y altura sobre el nivel del mar limitan su producción. Además, no se tiene conocimiento de su distribución geográfica y de la superficie cultivada a escala global, aunque hay evidencia de su presencia en Guatemala, Perú y Colombia (Perales, 2009).

Una investigación pionera fue realizada por Welhausen E., Roberts, M. y Hernández X. (1951), quienes clasificaron e identificaron la distribución de las razas de maíz en México, determinando que el cultivo del cacahuacintle se producía fundamentalmente en las partes altas, con climas semifríos y suelos de origen volcánico de los estados de Puebla, Tlaxcala y México (Figura 1). Actualmente, hay evidencia del cultivo en Chihuahua, Michoacán, México, Morelos, Tlaxcala, Puebla, Veracruz y Ciudad de México (CONABIO, 2010), Jalisco (Ron et al., 2006), Guerrero (Palemón et al., 2011) y Chiapas (Coutiño B., Vidal, V., Cruz, C., & Gómez, M., 2015). Se puede decir que en el país el conocimiento sobre las áreas con potencial productivo es escasa e insuficiente y poco actualizada, ya que no hay estudios enfocados a las características agroclimáticas y tipo de suelo apropiados para su cultivo, además de los aspectos económico-productivos de los distintos territorios.

Por lo anterior, los aportes a la generación de una metodología como la explotación adecuada de espacios con potencial productivo, al realizar investigaciones detalladas (Santiago M. & García J., 2001) son fundamentales. Asimismo, se fomenta su protección como raza nativa, se incrementa su producción (Sarmiento B. & Castañeda, Y., 2011) y ayuda a mejorar las condiciones de vida de los

**Figure 1. Spatial distribution of cacahuacintle in Mexico.****Figura 1. Distribución espacial del cacahuacintle en México.**

Project name / Nombre del proyecto	Location / Ubicación		Creator / Elaborador	Plan / Plano
Cacahuacintle maize in Mexico. Characterization and determination of cultivation areas / El maíz cacahuacintle en México. Caracterización y determinación de zonas de cultivo	Country / País	Mexico / México	M.C Juan Velázquez López	Potential Distribution of cacahuacintle maize / Distribución potencial del maíz cacahuacintle
	States / Estados	México, Michoacán, Puebla, Tlaxcala, Veracruz, Guerrero y Chihuahua / Mexico, Michoacán, Puebla, Morelos, Tlaxcala, Veracruz, Guerrero and Chihuahua		

Source: Own elaboration with data from CONABIO (2015a).

Fuente: Elaboración propia con datos de CONABIO (2015a).

globalization within producer rural areas of basic grains (Delgadillo, 2006). Specifically, the spatial distribution analysis is developed with a tool to identify suitable areas with agricultural potential through the analysis of the climate, type of soil and height (Reyes, 2015).

In order to reach objectivity in terms of recognition of niches, the concept of *homeomorphism* is used (Casillas J., Radillo M., & Efremov V., 2018), axiom that establishes that, if two or more objects share the same characteristics, all the other would have the same properties and it does not matter if they are not continuous. This is, it does not matter if the spaces are within different geographical areas, as long as they have the same characteristics, they will be called "*homeomorph spaces*" and the group of them "*homeomorph regions*", and for this study "*Potential Region*" (PR). In this way, models that represent a real group of

pueblos campesinos e indígenas (Quevedo D., Cervantes, J., Noriero, L., & Zepeda, J. 2017). Así, el análisis regional adquiere relevancia por las discrepancias de la globalización económica, en regiones rurales productoras de granos básicos (Delgadillo, 2006). Específicamente, el análisis de la distribución espacial se constituye en una herramienta para identificar áreas aptas con potencial agrícola mediante el análisis del clima, tipo de suelo y altura (Reyes, 2015).

Para tener objetividad en el reconocimiento de nichos, se recurre al concepto de *homeomorfismo* (Casillas J., Radillo M., & Efremov V., 2018), axioma que establece que, si dos o más objetos comparten las mismas características, todos los demás tendrán las mismas propiedades y no importa si no son continuas. Es decir; que no importa si los espacios están en áreas geográficas diferentes, siempre y cuando tengan las mismas características, se les

attributes must be designed in the most complete way, with high accuracy, for this, there are simulation models, according to Hernández N., Soto F., and Caballero A. (2009) they are the simplified delimitation of a system, and a system is a well delimited part of the area (Bindi, 2003).

In the agriculture, the phenomenological models<sup>1</sup>, represent an important element to make decisions when quantifying, interpreting and predicting the needs of the crops, their development and their yield (Hernández et al., 2009). They are favorable due to their agronomic importance and their capacity to give information about the entire biological system or, one part of it. In Mexico, these have been used to identify the maize growth, development and productivity (Flores H., Ojeda W., Sifuentes E., & Mejía E., 2013), the most accurate model is the "*Simulation of Corn Yield*" (SIMCOY) (Hernández et al., 2009). However, there is none focused on specific races such as the cacahuacintle, or on estimate its distribution in potential areas.

Thus, this type of adapted models is a methodological contribution with social, economic and ecological relevance, because there are areas in which a crop can be produced in a natural way, and when taking it out of them, the incidence of pests and diseases may increase with an impact on its yield reduction and on its crop quality (Reyes, 2015), these issues emerged due to the lack of knowledge about optimal production areas and about possible potential areas.

For this, detailed studies aimed at determining areas with productive potential for a specific crop, are highly significant (Santiago M. & García J., 2001). The objective of this research was to assess the potential of agricultural regions through models based on agro-climatic variables, in order to cultivate cacahuacintle maize (*Zea mays* sp) and analyze them with economic-productive variables to establish areas with a greater accuracy according to their potential. As a hypothesis, it was suggested that there are areas with potential in Mexico, where cacahuacintle maize can be produced and, that it is being grown below its capacity in the country.

<sup>1</sup>A phenomenological model quantitatively describes the processes and mechanisms that determine the behavior of the crop (Bindi, 2003).

llamará "espacios homeomorfos" y al conjunto de ellos "regiones homeomorfas", y para este estudio "Región Potencial" (RP). Así, se deben diseñar modelos que representen un conjunto real de atributos en la forma lo más completa posible, con alto grado de precisión, para ello, existen modelos de simulación, de acuerdo con Hernández N., Soto F., y Caballero A. (2009) son la delimitación simplificada de un sistema, y un sistema es una parte bien delimitada del espacio (Bindi, 2003).

En la agricultura los modelos fenomenológicos<sup>1</sup>, constituyen un elemento importante para tomar decisiones al cuantificar, interpretar y predecir las necesidades de los cultivos, el desarrollo de estos y sus rendimientos (Hernández et al., 2009). Son propicios por su importancia agronómica y por su capacidad de suministrar información de todo el sistema biológico o, de una parte. En México, se han utilizado para identificar el crecimiento, desarrollo y productividad del maíz (Flores H., Ojeda W., Sifuentes E., & Mejía E., 2013), el más cercano es el modelo de "*Simulation of Corn Yield*" (SIMCOY) (Hernández et al., 2009). Pero, no hay ninguno enfocado a razas específicas como el cacahuacintle, ni a estimar su distribución en áreas potenciales.

Así, este tipo de modelos adaptados son un aporte metodológico con relevancia social, económica y ecológica, ya que existen áreas, en donde se puede producir un cultivo de manera idónea, y al sacarlo de ellas, tal vez aumente la incidencia de plagas y enfermedades, impactando en la reducción de su rendimiento y calidad de la cosecha (Reyes, 2015), estos problemas surgidos por desconocimiento de zonas de producción óptimas, así como de posibles zonas potenciales.

Es por lo que estudios detallados para determinar espacios con potencial productivo para un determinado cultivo son altamente relevantes (Santiago M. & García J., 2001). El objetivo de la investigación fue evaluar mediante modelos basados en variables agroclimáticas el potencial de regiones agrícolas para cultivar maíz cacahuacintle (*Zea mays* sp) y analizarlas con variables económico-productivas para establecer regiones con

<sup>1</sup>Un modelo fenomenológico, describe en modo cuantitativo, los procesos y mecanismos que determinan el comportamiento del cultivo (Bindi, 2003).

## Methodology

It was proposed to project a region through the database of the Sistema de Información Agrícola y Pesquera (SIAP, 2020b), by using two correlated variables (production "Y" and Production Value "PV" per hectare in dollars<sup>2</sup>. The ranges are: 11.2-20 UDM·ha<sup>-1</sup>, Agricultural Measurement Unit - of SIAP, for "Y" 1 424 – 4 070.8 dollars per hectare for "PV". Subsequently, the agro-climatic characteristics of the municipalities that cultivate cacahuacintle maize, were identified and, these results were compared with the bibliographic review and previous regionalizations. With this, a first approximation was obtained in order to look for potential areas for this crop, a mathematical model was created and in this way, it was possible to edit the following model to extrapolate it at national scale, where the study area will be defined by the most suitable characteristics in the country in order to cultivate this grain.

### Mathematical model

The model maximizes the area  $A_i$ ; given temperature variables ( $T_i$ ) soil ( $S_i$ ) and precipitation ( $P_i$ ) and altitude ( $H_i$ ), (CONABIO, 2018a) subject to restriction of ( $T_i, S_i, P_i, H_i$ ), where, "If" the average annual temperature is less than 12 °C and more than 18 °C, this area is discarded. In the same way, if the type of soil ( $O_i$ ) does not correspond to the agricultural soil, if the height ( $G_i$ ) is not included in a range of 1 500 - 4 000 meters above sea level, this will not be taken into account. Finally, if the precipitation ( $R_i$ ) is not within a range from 400 to 2 000 mm per year, then, it is not considered in the model.

### Equation 1 / Ecuación 1

$$\begin{aligned} \text{Max } A_i \\ = \sum_{i=1}^m A_i & \left( \sum_{i=1}^n SArh \left[ Ata + Atp + Atap + Atasp + Arap + Aras + Arap + Aha + \right. \right. \\ & \quad \left. \left. Ahap + Ahas \right] T_i R_i \right) \\ & + S_i O_i + P_i U_i \\ & + H_i G_i \\ & + E \end{aligned}$$

<sup>2</sup>>>The price of the dollar for December 31st, 2020 (19.86) according to 2020 (El Dólar México, 2020).

mayor exactitud de acuerdo con su potencial. Como hipótesis se planteó que existen regiones con potencial donde puede producirse maíz cacahuacintle en México y que se está cultivando por debajo de su capacidad en el país.

## Metodología

Se planteó proyectar una región a través de la base de datos del Sistema de Información Agrícola y Pesquera (SIAP, 2020b), utilizando dos variables correlacionadas (Producción "Y" y Valor de la Producción "VP" por hectárea en dólares<sup>2</sup>. Los rangos son: 11.2-20 UDM·ha<sup>-1</sup>, Unidad de Medida Agrícola- del SIAP, para "Y" 1 424 – 4 070.8 dólares por hectárea para "VP". Posteriormente, se identificaron las características agroclimáticas de los municipios que cultivan maíz cacahuacintle y estos resultados se contrastaron con la revisión bibliográfica y regionalizaciones previas. Con ello, se obtuvo una primera aproximación para la búsqueda de espacios potenciales para este cultivo, creando un modelo matemático, así se logró editar el siguiente modelo para extrapolarlo a escala nacional, donde el área de estudio va a estar definida por las características más idóneas en el país para cultivar este grano.

### Modelo matemático

El modelo maximiza el área  $A_i$ ; dadas variables de temperatura ( $T_i$ ) suelo ( $S_i$ ) y precipitación ( $P_i$ ) y altitud ( $H_i$ ), (CONABIO, 2018a) sujetas a restricciones de ( $T_i, S_i, P_i, H_i$ ), en donde, "Si" la temperatura media anual es menor que 12 °C y mayor que 18 °C, esa área se descarta. Igualmente, si el tipo de suelo ( $O_i$ ) no corresponde al suelo agrícola, si la altura ( $G_i$ ) no está

<sup>2</sup>>>El precio del dólar para el 31 de diciembre del 2020 (19.86) según de 2020 (El Dólar México, 2020).

Subject to:

Si  $R_i < 2^\circ, > 28^\circ, T_i = 0$

$S_i, S_i \neq 1$ . Agricultural Soil,

$S_i \neq 1, S_i = 0$

$U_i \neq 1.400-2,000\text{mm}$ ,

Si  $U_i \neq 1, P_i = 0$

Where:

$SArh$  = Agricultural soil per humidity level

$Ata$  = Annual seasonal Agriculture

$Atp$  = Permanent seasonal Agriculture

$Atap$  = Permanent annual seasonal Agriculture

$Atasp$  = Semi-permanent annual seasonal Agriculture

$Arap$  = Permanent annual seasonal Agriculture

$Aha$  = Annual humidity Agriculture

$Ahap$  = Permanent annual humidity Agriculture

$Ahasp$  = Semi-permanent annual humidity Agriculture

$Ar$  = Irrigated agriculture

$Ara$  = Annual irrigated Agriculture

$Arap$  = Permanent irrigated Agriculture

$Arasp$  = Semi-permanent annual irrigated Agriculture

$T_i$  = Area given by the temperature

$R_i$  = Temperature range

$S_i$  = Area given by the type of soil

$O_i$  = Recommended soils

$P_i$  = Area given by the precipitation

$U_i$  = Precipitation range

$H_i$  = Area given by the altitude

$G_i$  = Altitude range

$E$  = Error

The Quantum Geographic Information System (QGIS), was used to edit, manage and quantify the first "PR". Finally, the seasonal regime was extracted at municipal scale with data from the SIAP (2020), by using a pooling model of hierarchical cluster. From this latest, it was possible to stratify into three suitability groups for their expansion: "group 1 high", "group 2 medium" and "group 3 low" suitability at national scale and statistical tests were carried out in order to compare and analyze them.

## Results and discussion

In Mexico, the seasonal agricultural area was the 69.4 % of the total agricultural area sown, with a surface of 12 585 282.5 ha (SIAP, 2020) and the annual humidity was 8.1 %, the rest was irrigated areas in

comprendida en un rango de 1 500 - 4 000 msnm, no se considerará. Finalmente, si la precipitación no entra en un rango de 400 a 2 000 mm anuales, entonces no se considera en el modelo.

Sujeto a:

Si  $R_i < 2^\circ, > 28^\circ, T_i = 0$

$S_i, S_i \neq 1$ . Suelo Agrícola,

$S_i \neq 1, S_i = 0$

$U_i \neq 1.400-2,000\text{mm}$ ,

Si  $U_i \neq 1, P_i = 0$

Donde:

$SArh$  = Suelo agrícola por régimen de humedad

$Ata$  = Agricultura de temporal anual

$Atp$  = Agricultura de temporal Permanente

$Atap$  = Agricultura de temporal anual Permanente

$Atasp$  = Agricultura de Temporal Anual Semipermanente

$Arap$  = Agricultura de temporal anual Permanente

$Aha$  = Agricultura de humedad anual

$Ahap$  = Agricultura humedad anual Permanente

$Ahasp$  = Agricultura de humedad anual Semipermanente

$Ar$  = Agricultura de riego

$Ara$  = Agricultura de riego anual

$Arap$  = Agricultura de riego permanente

$Arasp$  = Agricultura de riego anual Semipermanente

$T_i$  = Área dada por la temperatura

$R_i$  = Rango de temperatura

$S_i$  = Área dada por tipo de suelo

$O_i$  = Suelos recomendados

$P_i$  = Área dada por la precipitación

$U_i$  = Rango de precipitación

$H_i$  = Área dada por la altitud

$G_i$  = Rango de altitud

$E$  = Error

Se recurrió al Software libre de Información Geográfica (QGIS), para editar, manejar y cuantificar la primera "RP". Finalmente, se extrajo de dicha región el régimen de temporal a escala municipal y con datos del SIAP (2020), utilizando un modelo de agrupación de conglomerados jerárquicos. De esta última, se logró estratificar en tres grupos de aptitud para su expansión: "grupo 1 alta", "grupo 2 mediana" y "grupo 3 baja" aptitud a escala nacional y se realizaron pruebas estadísticas para compararlos y analizarlos.

different modalities (CONABIO, 2020a). In both types of agriculture, the most important crop is the grain corn and the surface intended for the cacahuacintle was the 0.8 % at national scale. It was sown on 41 173 ha, specifically, in Morelos (8 896.8 ha), Jalisco (8 105.37 ha), San Luis Potosí (7 158 ha), México (3 349.2 ha), Puebla (2 118.5 ha). In those states, the 71.6 % of the found area is focused on this type of corn (Table 2).

At municipal scale, the cacahuacintle was sown in 170 municipalities, mainly in the center of the country, highlighting the states of Morelos, Michoacán and Puebla. The largest harvested area "HA" was found in: Ciudad Fernández (3 914 ha) and Rioverde (2 948 ha) in San Luis Potosí. In the same way, in Ayala (2 673.6 ha) Axochiapan (2 580.2), Tepalcingo (1 076.4 ha) in Morelos; Autlán de Navarro (1 947 ha), Tonila (1 369.6 ha), Casimiro Castillo (1 171.9 ha) in Jalisco; Calimaya (1 471.1 ha) Tenango del Valle (536.2), Valle de Bravo (533 ha) and Temascaltepec (215) in the Estado de México; and Chietla (900 ha), Palmar de Bravo (568 ha) and Chalchicomula de Sesma (275 ha) in Puebla.

When analyzing data from (2020) per municipality where the cacahuacintle is sown, there is no significant statistical difference in the production value "PV" ( $t=-121$   $P < 0.904$ ) and yield ( $t=0.35$ ;  $P < 0.708$ ). This means that it is a group with equality between the values of the analyzed variables; yields (12  $\text{udm}\cdot\text{ha}^{-1}$ -26  $\text{udm}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) and prices from 1 305 to 5 280 dollar-hectare $^{-1}$ . The total "PV" was 94 923 445.6 dollars (SIAP, 2020b) and the average rural price "ARP" of cacahuacintle was 638 039 dollars·hectare $^{-1}$  (SIAP, 2020b) and in grain for pozole was 1 012.6 dollars·ton $^{-1}$ . The cost of production per hectare "PPH" (516 360), which is less than the cost of production of grain corn (1 965.4 dollars (FIRA, 2018)). It is important to note that it is highly demanded because is very popular in the traditional gastronomy (Hellin J. & Keleman A., 2013; Turiján T., Damián M., Ramírez B., Juárez J., & Estrella N., 2012; González, 2015), as well as its seasonality and limited production.

When comparing it with the seasonal white maize, in 2020, the production value "PV" of white maize reached 501.4 dollars·hectare $^{-1}$ , while the cacahuacintle sold as corn, reached an average "PV"

## Resultados y discusión

En México, la superficie agrícola de temporal representó el 69.4 % del total de superficie agrícola sembrada, con una extensión de 12 585 282.5 ha (SIAP, 2020) y la de humedad anual equivalió al 8.1 %, el resto fueron zonas de riego en distintas modalidades (CONABIO, 2020a). En ambos tipos de agricultura, el cultivo más importante es el maíz grano y la superficie destinada al cacahuacintle fue del 0.8 % a escala nacional. Se sembró en 41 173 ha, específicamente, en Morelos (8 896.8 ha), Jalisco (8 105.37 ha), San Luis Potosí (7 158 ha), México (3 349.2 ha), Puebla (2 118.5 ha). En los estados anteriores se concentra el 71.6 % de la superficie encontrada para este tipo de elote (Cuadro 2).

A escala municipal, el cacahuacintle se sembró en 170 municipios, principalmente del centro del país, destacando Morelos, Michoacán y Puebla. La mayor superficie cosechada "SC" se encontró en: Ciudad Fernández (3 914 ha) y Rioverde (2 948 ha) en San Luis Potosí. Asimismo, en Ayala (2 673.6 ha) Axochiapan (2 580.2), Tepalcingo (1 076.4 ha) en Morelos; Autlán de Navarro (1 947 ha), Tonila (1 369.6 ha), Casimiro Castillo (1 171.9 ha) en Jalisco; Calimaya (1 471.1 ha) Tenango del Valle (536.2), Valle de Bravo (533 ha) y Temascaltepec (215) en el estado de México; y Chietla (900 ha), Palmar de Bravo (568 ha) y Chalchicomula de Sesma (275 ha) en Puebla.

Analizando los datos del SIAP (2020) por municipio donde se cultiva el cacahuacintle, no hay diferencia estadística significativa en el valor de la producción "VP" ( $t=-121$   $P < 0.904$ ) y rendimiento ( $t=0.35$ ;  $P < 0.708$ ). Significa que es un grupo con igualdad entre los valores de las variables analizadas; los rendimientos (12  $\text{udm}\cdot\text{ha}^{-1}$ -26  $\text{udm}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) y precios desde los 1 305 hasta 5 280 dólares·hectárea $^{-1}$ . El "VP" total fue de 94 923 445.6 dólares (SIAP, 2020b) y el precio medio rural "PMR" del cacahuacintle fue de 638 039 dólares·hectárea $^{-1}$  (SIAP, 2020b) y en grano para pozole fue de 1 012.6 dólares·tonelada $^{-1}$ . El Costo de producción por hectárea "PPH" (516 360), el cual es menor al costo de producción de maíz grano (1 965.4 dólares (FIRA, 2018)). Es importante señalar que tiene una elevada demanda y se debe a que es muy apreciado en la gastronomía tradicional (Hellin J. & Keleman A., 2013; Turiján T., Damián M., Ramírez

of 2 501 dollars·hectare<sup>1</sup>, 499.2 % more in comparison with white maize, during a period of five months, this allows a rapid rotation of the earth making possible a more efficient use, it also contributes to the increase of income, cash flow, and welfare of families. According to the Encuesta Nacional de Ingreso y Gasto de los Hogares (INEGI, 2016), the annual income of a household per salary paid was 1 498.7 dollars. This means, to cultivate a hectare of cacahuacintle would increase the income in 40.1 % in just five months, higher than that obtained by being employed for one year, this could detonate the economic development of the above mentioned regions.

### Potential Region (PR) of cacahuacintle maize.

#### Edaphic and climatic factors

The "PR" of cacahuacintle is located in the center of the country on mountain chains (Figure 2). It covers an area of 1 634137.6 ha, it represents the 27.7 % of the "SS" of grain corn (SIAP, 2020a) and the 12.9 % of the temporal surface in Mexico, this region is located in 806 municipalities of the country (Figure 2). The cacahuacintle is produced in 2.5 % of the potential found and the potential surface represents the 6.6 % of the agricultural area of Mexico (SIAP, Frontera agrícola Serie III, 2019). The distribution matched with models created by the el Instituto Nacional Electoral-INE, CONABIO and SAGARPA (2008) for the distribution of maize diversity in Mexico, and with the mapping of different maize races (Perales H. & Golicher D., 2014). In those models, the potential distribution of many maize races was already described.

In the potential region, 45 types of soil were found, from which 10 cover 79.6 % of the PR, a total of 1 304 870.7 ha. In order of importance, these are: Vertisol Pelic "VP" whose extension is 236 180.4 ha and represents the 14.5 %, it is distributed in the south and center of the country. These are soils with particular characteristics where the prismatic forests highlight (Hernández A., Llanes V., López D., & Rodríguez, J., 2014), they are located in regions with high rainfall and are suitable for agriculture (Ibáñez J. & Cosio F., 2015). Favorable characteristics for the crop under study.

B., Juárez J., & Estrella N., 2012; González, 2015), así como a su temporalidad y limitada producción.

Al compararlo con el maíz blanco de temporal, en 2020, el valor de la producción "VP" del maíz blanco alcanzó los 501.4 dólares·hectárea<sup>1</sup>, mientras el cacahuacintle vendido como elote alcanzó un promedio de "VP" de 2 501 dólares·hectárea<sup>1</sup>,

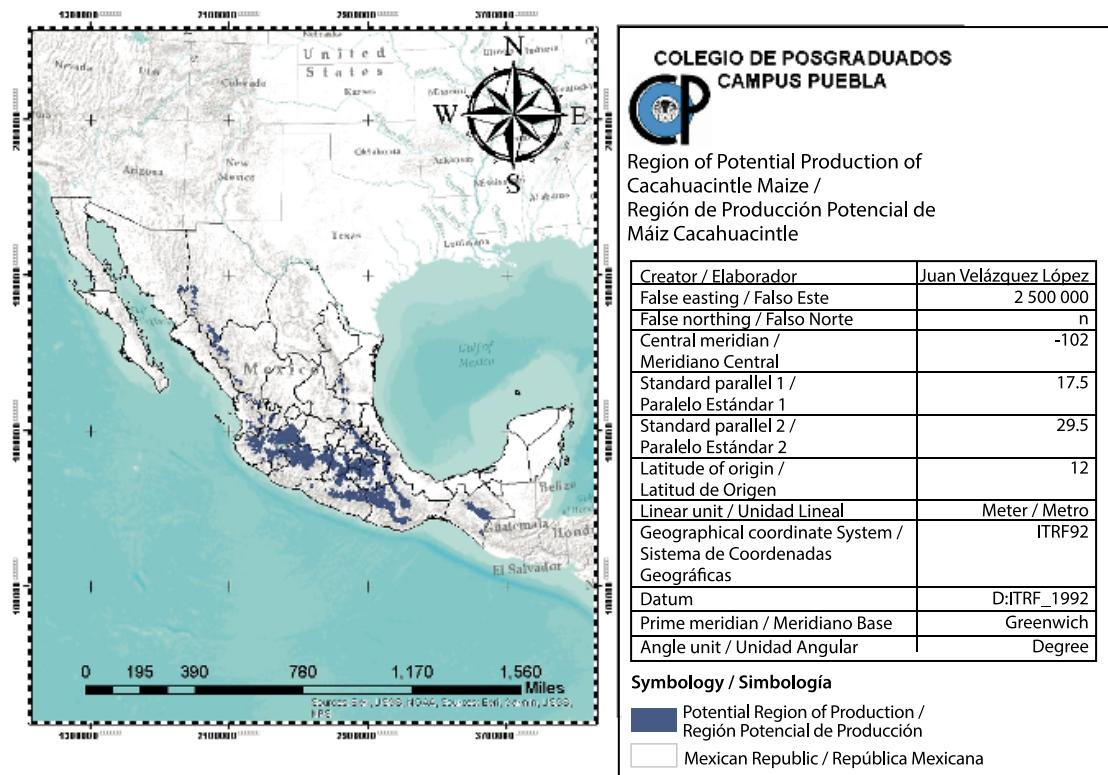
499.2 % más respecto al maíz blanco, en un periodo de cinco meses, lo que permite una rotación rápida de la tierra haciendo un uso más eficiente, además contribuye a aumentar el ingreso, el flujo de efectivo y el bienestar de las familias. De acuerdo con la Encuesta Nacional de Ingreso y Gasto de los Hogares (INEGI, 2016), el ingreso anual de un hogar por salario remunerado era de 1 498.7 dólares. Es decir que, cultivar una hectárea de cacahuacintle, incrementaría el ingreso en 40.1 % en solo cinco meses, superior a lo obtenido por emplearse durante un año, esto podría detonar el desarrollo económico de las regiones anteriormente mencionadas.

### Región Potencial (RP) de maíz cacahuacintle.

#### Aspectos edáficos y climáticos

La "RP" de cacahuacintle se ubica en el centro del país sobre las cadenas montañosas (Figura 2). Cubre un área de 1 634137.6 ha, que representa el 27.7 % de la "SS" de maíz grano (SIAP, 2020a) y el 12.9 % de la superficie de temporal en México, esta región se encuentra en 806 municipios del país (Figura 2). El cacahuacintle se produce en 2.5 % del potencial encontrado y la superficie potencial representa el 6.6 % de la superficie agrícola de México (SIAP, Frontera agrícola Serie III, 2019). La distribución coincidió con los modelos creados por el Instituto Nacional Electoral-INE, CONABIO y SAGARPA (2008) para la distribución de la diversidad de maíz en México, y con el mapeo de las distintas razas de maíz de (Perales H. & Golicher D., 2014). En dichos modelos ya se describía la distribución potencial de varias razas de maíz.

En la región potencial se encontraron 45 tipos de suelo, de los cuales 10 abarcan 79.6 % de la RP, en total 1 304 870.7 ha. Por orden de importancia son: Vertisol Pélico "Vp" cuya extensión es de 236 180.4 ha y representan el 14.5 %, se encuentra distribuido en el centro y sur del país. Son suelos con características

**Figure 2. Potential Region of the production of Cacahuacintle.****Figura 2. Región Potencial de la producción de Cacahuacintle.**

Source: Own elaboration: Data (CONABIO, 2018abc).

Fuente: Elaboración Propia: Datos (CONABIO, 2018abc).

Then, there is the Feozem Haplico "Hh" with 218 677.6, this is 13.4 % of the PR, this type of soil is exclusive from the state of Jalisco. It is characterized by its high organic matter and nutrients (INEGI, 2015), ideal for agriculture. The next one is the Eutric Regosol "Re" with 169 339.5 ha, this is, the 10.4 % of the PR, these are soils with particular characteristics where the prismatic forests highlight (Hernández et al., 2014), they are located in regions with high rainfall and are suitable for agriculture (Ibáñez J. & Cosio F., 2015). Likewise, Luvisols represented the 14.1 % in a compound manner (Ferric 8.7 % and Chromic 5.4 % respectively), most of them are fertile and suitable for agriculture uses (Driessen P. & Deckers J., 2001).

To a lesser extent, Andosols were found with 17.9 % of the PR, from which, the Humic Andosol "Th", 10.2 %, Ocric Andosol, "To" 6.8 %, Molic Andosol, "Tm" 0.97 all of them of volcanic origin, located in humid climates and perhumid with lots of rain, these are

particulars, destacan los bosques prismáticos (Hernández A., Llanes V., López D., & Rodríguez, J., 2014), ubicados en regiones con alta precipitación pluvial y buena aptitud para la agricultura (Ibáñez J. & Cosio F., 2015). Particularidades favorables para el cultivo en estudio.

Le sigue el Feozem Haplico "Hh" con 218 677.6, es decir 13.4 % de la RP, este tipo de suelo es exclusivo de Jalisco. Se caracteriza por su elevada materia orgánica y nutrientes (INEGI, 2015), ideal para la agricultura. El siguiente es el Regosol Eutrico "Re" con 169 339.5 ha, es decir; el 10.4 % de la RP, son suelos con características particulares, destacan los bosques prismáticos (Hernández et al., 2014), ubicados en regiones con alta precipitación pluvial y buena aptitud para la agricultura (Ibáñez J. & Cosio F., 2015). Asimismo, los Luvisoles representaron, el 14.1 % de manera compuesta (Férreco 8.7 % y Crómico 5.4 % respectivamente), la mayoría son fértiles y

black soils of volcanic formation. The original matter is mainly constituted by volcanic ashes, they are in areas of small hills to mountainous in humid regions, from the arctic to the tropic, under a wide range of plant formations, and those aimed at the agriculture, they are intensively cultivated (CONABIO, 2018c), these are stony and rich in clay (IUSS Working Group, 2015).

The reminders are: Litosol 4.6 %, Rendzine (2.5 %), Eutric Cambisol (3.4 %). For its part, Cambisols are suitable lands for agricultural use and can be intensively cultivated, these match with the researches on cacahuacintle, carried out by Hortelano et al. (2012) and Orozco Q., Odenthal, J., & Asitier M. (2017) in Pátzcuaro, Michoacán and Puebla. The previous results match with those of Welhausen & Hernández X. (1951) in their research, pointed out that the cacahuacintle was associated with fertile soils and of volcanic origin and it largely coincides with what is stated. Together, the total soils mentioned represent the 79.8 % of those obtained in the model and they were soils with agricultural potential, according to Ibáñez J. & Cosio F. (2015).

Type C climates represent the 97.2 % of the potential region: Semi-warm sub-humid, 39.8 % with its variations: (A)C(w1) 22.04 %, (A)C(wo) 13.6 %, (A)C(w2) 3.59 %, (A)C(m)(f) 0.5 %, (A)C(fm) 0.04 %. Temperate sub-humid 53.6 %: C(w2) 25.0 %, C(w1) 23.6 %, C(wo) 2.3 %, Cb'(w2) 2.3 %, C(w2)x' 0.3 %, C(w1)x' 0.05 % and finally, the rest consists of temperate humid climates, 3.9 %, C(m) 2.02 % C(m)(f) 1.7, C(f) 0.15 %. These climates are different to those cold and semi-cold that characterize the region, which were associated by Welhausen & Hernández X. (1951) and CONABIO (2015).

With this regard, Ruiz et al. (2008) say that maize has been geographically expanded to a wide extent of agro-climatic conditions and, in this sense, it is not an exception, on the other side, the climate change could be associated with temperature variations and the migration from a cold type of climate to a more temperate one, as Ariel et al., 2013, suggest, they show that the cacahuacintle and other *criollo* maize are adaptable to temperature and humidity levels. The soil and climate analysis indicates a wide existence of areas aimed at this crop, which suggests that it is

apropiados para usos agrícolas (Driessen P. & Deckers J., 2001).

En menor medida, se encontraron Andosoles con 17. 9 % de la RP, de los cuales, Andosol Húmico, "Th", 10.2 %, Andosol Ócrico, "To" 6.8 %, Andosol Mólico, "Tm" 0.97 todos de origen volcánico, ubicados en climas húmedos y per-húmedos con mucha lluvia, son suelos negros de formaciones volcánicas. El material original lo constituyen, fundamentalmente cenizas volcánicas, se encuentran en áreas onduladas a montañosas de las regiones húmedas, desde el ártico al trópico, bajo un amplio rango de formaciones vegetales, y los que son dedicados a la agricultura se encuentran cultivados de manera intensiva (CONABIO, 2018c), son pedregosos y ricos en arcilla (IUSS Working Group, 2015).

El resto son: Litosol 4.6 %, Rendzina (2.5 %), Cambisol Eutrico (3.4 %). Por su parte, los Cambisoles son aptos para tierras de uso agrícola y pueden cultivarse de manera intensiva y concuerdan con investigaciones para cacahuacintle llevadas a cabo por Hortelano et al. (2012) y Orozco Q., Odenthal, J., & Asitier M. (2017) en Pátzcuaro, Michoacán y Puebla. Los resultados anteriores, coinciden con los resultados de Welhausen & Hernández X. (1951) en su investigación, donde expresan que el cacahuacintle se asoció a suelos fértiles y de origen volcánico y concuerda en gran medida con lo planteado. En conjunto, el total de suelos mencionados representan el 79.8 % de los obtenidos en el modelo y fueron suelos con potencial agrícola, de acuerdo con Ibáñez J. & Cosio F. (2015).

Los climas de tipo C representan, el 97.2 % de la región potencial: Semicálido subhúmedo, 39.8 % con sus variaciones: (A)C(w1) 22.04 %, (A)C(wo) 13.6 %, (A)C(w2) 3.59 %, (A)C(m)(f) 0.5 %, (A)C(fm) 0.04 %. Templado subhúmedo 53.6 %: C(w2) 25.0 %, C(w1) 23.6 %, C(wo) 2.3 %, Cb'(w2) 2.3 %, C(w2)x' 0.3 %, C(w1)x' 0.05 % y finalmente el resto lo conforman climas templados húmedos, 3.9 %, C(m) 2.02 % C(m)(f) 1.7, C(f) 0.15 %. Estos climas son diferentes a los tradicionales fríos y semifríos los cuales estaban asociados por Welhausen & Hernández X. (1951) y CONABIO (2015).

Al respecto Ruiz et al. (2008) explica que el maíz se ha expandido geográficamente, a un amplio

not conditioned to a specific and reduced ecological niche. In this regard, Ron et al. (2006) and Kato et al. (2009) say that farmers have managed to adapt different crops to different types of environment for thousand years. This supports that the cacahuacintle is already diversified in different environments.

The ranges of precipitation of this area vary from 800 to 1 200 mm, these are in the 84.1 % of the "PR", the range of rain with the largest presence was from 800 to 1200 mm per year, within an area of 1373 294.4 ha, thus, the range covers just over four fifths of the area found. This corresponds with what was reported by Ariel et al. (2013), they report between 788 and 962 mm accumulated, and Arellano J., Gámez J., & Ávila M. (2010) mentioned precipitations higher than 800 mm. This regime of precipitation is more visible in the states of Jalisco (429 508.1 ha), Michoacán (37 3770.2 ha), Puebla, (164 196.7 ha), Oaxaca (88 825.7 ha), Estado de México (62 319.1 ha), Tlaxcala (52 500.2 ha), Guerrero (44 412.3 ha), Morelos (33 564.3 ha), Hidalgo (30 567.3 ha), Chiapas (28 802.7 ha). These states have the 95.3 % of this pluviometric regime; the rest is randomly distributed in the PR.

The regime from 1 200 to 1 500 mm per year, was the second most common regime, and it represents the 15.9 % of the potential area, the abundance of rains helps the cacahuacintle to develop optimally, because this makes it possible for fertilization to be used more efficiently (Barbieri P., Echeverría H., Sainz, H., & Maringolo M., 2010).

In the potential area, a classification based on an inverse relationship to the income per maize, was assigned, this is, where maize has a lower income, it is called high potential area and where the income is greater, it is a low potential area, this is because maize is the main crop and its importance is absolute for rural areas. The most potential areas are located in Michoacán, Puebla and Estado de México, where this grain has always been sown (CONABIO, 2010). Then we have: Oaxaca, Tlaxcala, Guerrero, Chiapas, Jalisco (Table 1).

In the same way, Jalisco, Michoacán, Guanajuato and Colima have low potential areas, this means that there, the income per maize is better or competes with the possible income from cacahuacintle maize.

margen de condiciones agroclimáticas y en este caso, no es la excepción, por otra parte, el cambio climático pudiera estar asociado a las variaciones en las temperaturas y existir una migración de un tipo de clima frio a uno más templado, como lo planteado por Ariel et al., 2013, quien demostró que el cacahuacintle y otros maíces criollos se adaptan a distintos regímenes de humedad y temperatura que son condiciones variables del clima. El análisis de suelo y clima indica una amplia existencia de espacios para este cultivo, que sugieren no estar condicionado a un nicho ecológico específico y reducido. Al respecto, Ron et al. (2006) y Kato et al. (2009) mencionan que los agricultores han logrado adaptar diversos cultivos a distintos tipos de ambientes durante miles de años. Lo anterior, fundamenta que el cacahuacintle se encuentra diversificado ya en distintos ambientes.

Los rangos de precipitación de esta zona oscilan entre de los 800 a 1 200 mm, se presentan en 84.1 % de la "RP", el rango de lluvias con mayor presencia fue de 800 a 1 200 mm anuales, en un área de 1373 294.4 ha, este rango abarca poco más de cuatro quintas partes del área encontrada. Esto concuerda con lo reportado por Ariel et al. (2013), reportan entre 788 y 962 mm acumulados, y Arellano J., Gámez J., & Ávila M. (2010) mencionan precipitaciones superiores a los 800 mm. Este régimen de precipitación tiene mayor presencia en los estados de Jalisco (429 508.1 ha), Michoacán (37 3770.2 ha), Puebla, (164 196.7 ha), Oaxaca (88 825.7 ha), estado de México (62 319.1 ha), Tlaxcala (52 500.2 ha), Guerrero (44 412.3 ha), Morelos (33 564.3 ha), Hidalgo (30 567.3 ha), Chiapas (28 802.7 ha). Estos estados concentran el 95.3 % de este régimen pluviométrico; el resto, está distribuido de manera aleatoria en la RP.

El segundo régimen más frecuente fue: 1 200 a 1 500 mm anuales, y representan 15.9 % del territorio potencial, la presencia abundante de lluvias hace que el cacahuacintle tenga un desarrollo óptimo. Debido a que hace posible que la fertilización se aproveche con más eficiencia (Barbieri P., Echeverría H., Sainz, H., & Maringolo M., 2010).

En el área potencial, se asignó una clasificación basada en una relación inversa al ingreso por maíz, es decir; donde el maíz tiene menores ingresos se

**Table 1. Area and type of potential to grow cacahuacintle.**  
**Cuadro 1. Área y tipo de potencial para cultivar cacahuacintle.**

STATES / ESTADOS	Type of potential / Tipo de potencial			<b>Total</b>
	High / Alto	Low / Bajo	Medium / Mediano	
Chiapas	76 925.62	0.00	0.00	76 925.62
Chihuahua	6 564.33	0.00	42.35	6 606.68
Colima	0.28	114.49	0.00	114.77
Distrito Federal	8 704.36	0.00	0.00	8 704.36
Durango	5 164.02	0.00	0.00	5 164.02
Estado de México	85 291.23	0.00	15 857.43	101 148.66
Guanajuato	6 391.06	3 662.47	11 367.06	21 420.59
Guerrero	71 686.62	0.00	205.48	71 892.10
Hidalgo	43 537.99	0.00	1301.96	44 839.95
Jalisco	48 048.84	122 626.23	260 077.41	430 752.49
Michoacán	331 095.56	13 640.06	94 581.04	439 316.65
Morelos	33 846.38	0.00	215.24	34 061.62
Nayarit	1 279.86	0.00	3 231.63	4511.49
Nuevo León	158.20	0.00	0.00	158.20
Oaxaca	108 465.50	0.00	0.00	108 465.50
Puebla	190 777.97	0.00	15.05	190 793.02
Querétaro	925.19	0.00	0.00	925.19
San Luis Potosí	114.90	0.00	0.00	114.90
Sinaloa	18.55	0.00	0.00	18.55
Sonora	1 195.92	0.00	0.00	1 195.92
Tamaulipas	2 658.83	0.00	0.00	2 658.83
Tlaxcala	52 500.23	0.00	0.00	52 500.23
Veracruz	24 899.70	0.00	0.00	24 899.70
Zacatecas	1 024.05	0.00	5 924.55	6 948.60
<b>Overall total / Total general</b>	<b>1 101 275.18</b>	<b>140 043.25</b>	<b>392 819.19</b>	<b>1 634 137.62</b>

Source: Own elaboration, data: (SIAP, 2020). (CONABIO, 2018abc).

Fuente: Elaboración propia datos: (SIAP, 2020). (CONABIO, 2018abc).

#### *Productive and economic aspects of the "PR"*

The production value of the "PR" assessed in the value of the average income per hectare from the sale of cacahuacintle in 2020, increased to 1 959 898 dollars in little more than 41 thousand hectares (SIAP, 2020). If a correct strategy was implemented to expand this crop, it would represent an alternative to contribute with the increase of the income from the rural agricultural sector of the regions

le denomina región con alto potencial y donde los ingresos son mayores se trata de una región con bajo potencial, esto debido a que el maíz es el principal cultivo y su importancia para las regiones rurales es absoluta. Las mayores superficies potenciales se encuentran en Michoacán, Puebla y estado de México, en estos es donde siempre se ha sembrado este grano (CONABIO, 2010). Le siguen: Oaxaca, Tlaxcala, Guerrero, Chiapas, Jalisco (Cuadro 1).

mentioned above by improving their life quality. The states with a higher potential are located within the center of the city, and Michoacán and Jalisco stand out with the 53 %. These are also distinguished as one of the main areas of maize production, due to the quality of their lands and suitable climatological factors for production; only in Jalisco there are 14 corn varieties (Jasso, 2017), this fact is consistent with the results obtained. It has a potential extension of 439 536.4 ha, that belongs to the seasonal regime. In Michoacán, the existence of cacahuacintle has already been recorded in the studies of Ruiz Corral et al. (2018).

The potential area in the state of Michoacán was of 439 536.4 ha in 2020, the surface cultivated was 587 ha, with a productivity of 15.5 udm·ha<sup>-1</sup> (SIAP, 2020). Less than 0.06 % of the seasonal potential surface of this crop is cultivated, according to the SIAP, the income per hectare in dollars was 3 459.1 USD·ha<sup>-1</sup> until 2020. It is believed that this crop could be strategically used in the agricultural policy.

Jalisco, is the second state with the largest area sown with this maize with an average income of 2 520 USD·ha<sup>-1</sup>. In 2020, the state of Puebla is the next one with 187 807.2 ha, which have the largest extension cultivated (15 791.8 ha) in the Distrito de Desarrollo Rural de Libres (SIAP, 2020), however, the seasonal potential surface used for this grain is 0.25 %; that is, although it is the largest producer of cacahuacintle, its total capacity is not covered. On the other side, the average income of seasonal maize was 1833.9 dollars·ha<sup>-1</sup>, and due to the cacahuacintle 2520 USD·ha<sup>-1</sup> (SIAP, 2020b). This supports the hypothesis that it is a feasible alternative in corn regions with low income, it is the case of the municipality of Calimaya, Estado de México.

For its part, in the state of Puebla, a surface of 2 118.5 ha was found, however, despite its small area sown, its yield was the greatest with 19.9 udm·ha<sup>-1</sup> and the potential surface was of 190 793.0 ha, and it is in 121 municipalities of the state, the most important by order of extension are: Atlixco (15 623.79 ha), Huaquechula (10 264.41 ha), Zácatlán (9 029.35 ha), Huejotzingo (8 229.68 ha), Atzitzihuacán (6 843.20 ha), Puebla (5 962.44 ha), Chignahuapan (5 634.79 ha), Huatlatlauca (5 009.41 ha), San Martín Texmelucan (4 918.68 ha), Tlatlauquitepec

Asimismo, Jalisco Michoacán, Guanajuato y Colima presentan áreas con bajo potencial, lo que significa que ahí los ingresos por maíz son mejores o compiten con los ingresos posibles para maíz cacahuacintle.

#### *Aspectos productivos y económicos de la "RP"*

El valor de la producción de la "RP" tasado en el valor de los ingresos promedio por hectárea por venta de cacahuacintle del año 2020, ascendieron a 1 959 898 dólares en poco más de 41 mil hectáreas (SIAP, 2020). Si se implementara una estrategia adecuada para expandir este cultivo, representarían una alternativa para contribuir a aumentar el ingreso del sector agrícola rural de las regiones citadas, mejorando su calidad de vida. Los estados con mayor potencial se encuentran en el centro del país y destaca Michoacán y Jalisco con el 53 % del área potencial. También se distinguen como uno de los principales espacios productores de maíz, debido a la calidad de sus tierras y factores climatológicos idóneos para su producción; solo en Jalisco, existen 14 variedades eloteras (Jasso, 2017), lo que concuerda con los resultados obtenidos. Posee una extensión potencial de 439 536.4 ha, pertenecen al régimen de temporal. En Michoacán, ya se ha registrado la presencia de cacahuacintle en los estudios de Ruiz Corral et al. (2018).

El área potencial en el estado de Michoacán en 2020 fue de 439 536.4 ha, la superficie cultivada fue de 587 ha, con una productividad de 15.5 udm·ha<sup>-1</sup> (SIAP, 2020). Se cultiva menos del 0.06 % de la superficie potencial de temporal de este cultivo, de acuerdo con el SIAP el ingreso por hectárea en dólares al 2020 fue de 3 459.1 USD·ha<sup>-1</sup>. Se considera que este cultivo podría utilizarse estratégicamente en la política agrícola.

Jalisco, es el segundo estado con la mayor superficie sembrada de este maíz con ingresos promedio de 2 520 USD·ha<sup>-1</sup>. En el año 2020, le sigue el estado de Puebla con 187 807.2 ha, que concentra la mayor extensión cultivada (15 791.8 ha) en el Distrito de Desarrollo Rural de Libres (SIAP, 2020), no obstante, la superficie potencial de temporal ocupada para este grano fue de 0.25 %; es decir, aun siendo el mayor productor de cacahuacintle su capacidad total no está cubierta. Por otra parte, ahí el ingreso promedio de maíz de temporal fue de 1

(4 358.21 ha); This crop is not necessarily in these municipalities, on the other side, the location of those suitable territories, are found in the zone near the Popocatépetl and the sierra Nororiental, dismissing the agricultural area of the center of Puebla for this crop.

In Puebla, the areas where this maize is sown are: Chietla (900 ha), Palmar de Bravo (568 ha), Chalchicomula de Sesma (275 ha) SIAP, 2020b. Where the greatest production value per hectare belongs to Palmar de Bravo with 2 571 USD·ha<sup>-1</sup> and Chalchicomula de Sesma with 2 368 USD·ha<sup>-1</sup> and Chietla with 1 472 USD·ha<sup>-1</sup>, this latter could vary due to its area sown which is greater and as there is a greater supply, the price decreases.

Oaxaca, does not have data for the study year of cacahuacintle, however, it has a high diversity of native maize (CONABIO, 2020b) the suitable area was of 108 465.5 ha, and it obtained one of the lowest income from grain corn crop (335.7 dollars·ha<sup>-1</sup>). Consequently, this grain could be an economic alternative in this state given the conditions not only physical, but also cultural.

Furthermore, the Estado de México, which is considered as the center of origin of the maize (CONABIO, 2010) has a potential of 101 148.7 ha, it is also located on the foothills of the volcano Nevado de Toluca, where the main producer of this grain is the municipality of Calimaya (1 471 ha), Tenango del Valle (536 ha), Valle de Bravo (533 ha), Temascaltepec (215 ha), it is important to highlight that the municipalities of Tenango and Calimaya have a historical tradition in the production of this crop according to the researches of Sarmiento (2010) and Vázquez J., Vázquez A., & Perches M. (2010), and in the municipalities of Valle de Bravo and Temascaltepec this corn has been adapted during the last two decades.

The states mentioned above, represent 1 270 476.3 ha, this is the 77.7 % of the potential area. The rest of the potential area consists of the state of Chiapas, (4.7 %), Guerrero (4.4 %), Tlaxcala (3.2 %), Hidalgo (2.7 %), Morelos (2.1 %), Veracruz (1.5 %), Guanajuato (1.3 %), Distrito Federal (0.5 %), Zacatecas (0.4 %), Chihuahua (0.4 %). These are the states with the lowest potential to produce this grain and, thus, with the greater demand. However, the current

833.9 dólares·ha<sup>-1</sup>, y por cacahuacintle 2 520 USD·ha<sup>-1</sup> (SIAP, 2020b). Esto alimenta la hipótesis de que es una alternativa viable en regiones maiceras con bajos ingresos, es el caso del municipio de Calimaya, estado de México.

Por su parte, en el estado de Puebla, se encontró una superficie de 2 118.5 ha, sin embargo, pese a su pequeña extensión sembrada su rendimiento fue el mayor con 19.9 udm·ha<sup>-1</sup> y la superficie potencial fue de 190 793.0 ha, y se encuentra presente en 121 municipios de la entidad, los principales por orden de extensión son: Atlixco (15 623.79 ha), Huaquechula (10 264.41 ha), Zatlán (9 029.35 ha), Huejotzingo (8 229.68 ha), Atzitzihuacán (6 843.20 ha), Puebla (5 962.44 ha), Chignahuapan (5 634.79 ha), Huatlatlauca (5 009.41 ha), San Martín Texmelucan (4 918.68 ha), Tlatlauquitepec (4 358.21 ha); No necesariamente este cultivo se encuentra presente en dichas municipalidades, por otra parte, la ubicación de estos territorios con aptitud se encuentran en la zona cercana al Popocatépetl y la sierra Nororiental, desestimando la zona agrícola del centro de Puebla para este cultivo.

En Puebla, los espacios en donde se siembra este maíz son: Chietla (900 ha), Palmar de Bravo (568 ha), Chalchicomula de Sesma (275 ha) SIAP, 2020b. Ahí el mayor valor de la producción por hectárea pertenece a Palmar de Bravo con 2 571 USD·ha<sup>-1</sup> y Chalchicomula de Sesma con 2 368 USD·ha<sup>-1</sup> y Chietla con 1 472 USD·ha<sup>-1</sup>, este último podría diferir por su extensión cultivada que es mayor y al haber mayor oferta el precio disminuye.

Oaxaca, no tiene datos para el año estudiado de cacahuacintle, sin embargo, posee alta diversidad de maíces nativos (CONABIO, 2020b) la superficie con aptitud fue de 108 465.5 ha, y obtuvo uno de los ingresos más bajos por cultivo de maíz grano (335.7 dólares·ha<sup>-1</sup>). Por lo que este grano pudiera ser una alternativa económica, en dicho estado dadas las condiciones no solo físicas, sino culturales.

Por otra parte, el estado de México, que es el lugar considerado el centro de origen de este maíz (CONABIO, 2010) posee un potencial de 101 148.7 ha, extensión que se encuentra de igual manera ubicada a las faldas del volcán Nevado de Toluca, ahí el principal productor de este grano es el municipio de Calimaya (1 471 ha), Tenango del Valle (536 ha), Valle de

**Table 2. Economic, productive, geographical characteristics of the PR of cacahuacintle maize under the seasonal regime 2020.**  
**Cuadro 2. Características económicas, productivas y geográficas de la RP de maíz cacahuacintle bajo régimen de temporal 2020.**

STATES / ESTADOS	% 1*ha with respect to the potential / % 1ha respecto al potencial	Area sown / Superficie sembrada	Yield UDM·ha <sup>-1</sup> / Rendimiento UDM·ha <sup>-1</sup>	Potential hectares free of cultivation/ Hectáreas potenciales sin cultivar	Potential	Potential total	Income USD / MC·ha <sup>-1</sup> / Ingreso USD / MC·ha <sup>-1</sup>	Income USD / MC·ha <sup>-1</sup> / Ingreso USD / MC·ha <sup>-1</sup>
					seasonal area / Sup. de temporal	area / superficie total potencial	maize (ha) / Ingreso USD maíz (ha)	maize (ha) / Ingreso USD maíz (ha)
Chiapas	0.75 %	579.0	18.9	75 423.9	76 002.9	76 925.6	1 571.3	1 153.5
Chihuahua	1.88 %	124.0	18.8	6 574.8	6 698.8	6 606.7	4 065.0	2 041.0
Distrito Federal	0.00 %	0.0	0.0	0.0	0.0	8 704.4	0.0	138.3
Durango	1.70 %	88.0	17.2	4 176.1	4 264.1	5 164.0	4 070.8	1 842.1
México	3.31 %	3 349.2	15.2	101 133.5	6 905.9	101 148.7	2 934.0	3 093.5
Guanajuato	8.28 %	1 773.0	20.0	10 348.6	12 121.6	21 420.6	2 711.5	8 041.1
Guerrero	0.42 %	303.1	16.6	64 498.7	64 801.8	71 892.1	2 577.2	1 982.7
Hidalgo	3.38 %	1 513.4	11.2	28 990.1	30 503.6	44 840.0	1 485.2	569.8
Jalisco	1.88 %	8 105.4	17.6	322 468.3	330 573.6	430 752.5	2 520.0	1 833.9
Michoacán	0.13 %	587.0	15.5	281 266.5	281 853.5	439 316.7	3 459.1	621.8
Morelos	26.12 %	8 896.8	14.2	18 214.7	27 111.5	34 061.6	1 895.7	478.3
Nayarit	4.50 %	203.0	17.6	4 559.0	4 762.0	4 511.5	1 424.0	3 046.9
Nuevo León	0.00 %	0.0	0.0	0.0	0.0	158.2	0.0	5 209.7
Oaxaca	0.00 %	0.0	0.0	0.0	0.0	108 465.5	0.0	335.7
Puebla	1.11 %	2 118.5	19.9	144 367.4	146 485.9	190 793.0	2 030.5	562.6
Querétaro	25.29 %	234.0	15.5	691.2	925.2	925.2	2 592.5	1 294.7
Sonora	6.27 %	75.0	14.8	0.0	76.0	1 195.9	3 116.8	62.9
Tamaulipas	2.14 %	57.0	13.0	2 601.8	2 658.8	2 658.8	1 733.6	911.1
Tlaxcala	0.09 %	45.0	16.0	38 408.4	38 453.4	52 500.2	2 172.6	889.7
Veracruz	0.00 %	0.0	0.0	0.0	0.0	24 899.7	0.0	918.3
Zacatecas	0.00 %	0.0	0.0	0.0	0.0	6 948.6	0.0	2 430.1
San Luis Potosí	9.53 %	10.0	13.2	104.9	114.9	114.9	2 212.5	29 067.2
Sinaloa	183.27 %	12.0	13.2	6.5	18.5	18.5	1 772.7	49 788.0
Colima	7.62 %	15.0	15.9	196.9	211.9	114.8	2 382.5	31 4278.1
Overall total / Total general	28 088.4	304.2	1 104 031.3	1 034 543.9	1 634 137.6	46 727.3	430 591.1	

production does not satisfy the markets of the main producer states as established by the studies carried out by Ramírez (2017) meant at the states with greater production: (Michoacán, Puebla and Estado de México).

In the following states: Mexico City, Estado de México, Guanajuato, Nayarit, Nuevo León, Oaxaca, Veracruz, Zacatecas, San Luis Potosí, Sinaloa, Colima, according to the data from the SIAP, 2020, despite they have potential for its cultivation, the cacahuacintle does not represent an economic alternative compared with the grain maize. The above could be due to the recent increase in the price of maize.

Finally, with the statistical pooling technique by means of a sample, entering variables of: IMRBRT (Maize Income in the Region Under Seasonal Regime per hectare, IMRBRT in Spanish) ( $F=1188.47$ ,  $P=0.000$ ) and seasonal maize production per hectare ( $F=895.44$  Y  $P=0.000$ ), the above analysis of variance shows that the regions are different from each other, given the selected data for their grouping.

The states with higher potential to cultivate cacahuacintle, according to the income and productivity of the grain maize are: Oaxaca with 227 municipalities, Puebla with 120 respectively, Estado de México with 66 municipalities, Michoacán (65), Tlaxcala (56), Guerrero (45), Veracruz (36), Hidalgo (27), Jalisco (26), Morelos (25) Chiapas (25). The region with medium potential consists of areas within the states of: Jalisco, Michoacán, Estado de México, Guanajuato (Figure 3). And, finally, the region with low potential is located in the states of Jalisco, Guanajuato, Michoacán and Colima, in this latter, the income from grain maize are greater to the income from cacahuacintle maize, for this, its cultivation is not recommended within this zone.

The methods used in this study, shows an improvement from the traditional method because it combines its own data for the specialization of soil and climate variables as the approach of Morales, Canessa, Mattar, Orrego, & Matus (2006) in Chile, this study associates the conditions of the maize races with the contributions of Perales H., & Golicher D. (2014), the novelty of this research is to regionalize a crop at large scale and it also combines productive and economic data, this contribution is one of the

Bravo (533 ha), Temascaltepec (215 ha), cabe destacar que los municipios de Tenango y Calimaya tienen tradición histórica en la producción de este cultivo de acuerdo a las investigaciones de Sarmiento (2010) y Vázquez J., Vázquez A., & Perches M. (2010), y en los municipios de Valle de Bravo y Temascaltepec se ha adaptado este cultivo en las últimas dos décadas.

Los estados anteriores, representan 1 270 476.3 ha, equivalen, al 77.7 % del área potencial. El resto de superficie potencial lo conforman los estados de Chiapas, (4.7 %), Guerrero (4.4 %), Tlaxcala (3.2 %), Hidalgo (2.7 %), Morelos (2.1 %), Veracruz (1.5 %), Guanajuato (1.3 %), Distrito Federal (0.5 %), Zacatecas (0.4 %), Chihuahua (0.4 %). Son los estados con el menor potencial para producir este grano y, por ende, con la mayor demanda. Sin embargo, la producción actual no satisface los mercados de los principales estados productores como lo establecieron los estudios realizados por Ramírez (2017) proyectados para los estados con mayor producción: (Michoacán, Puebla y Estado de México).

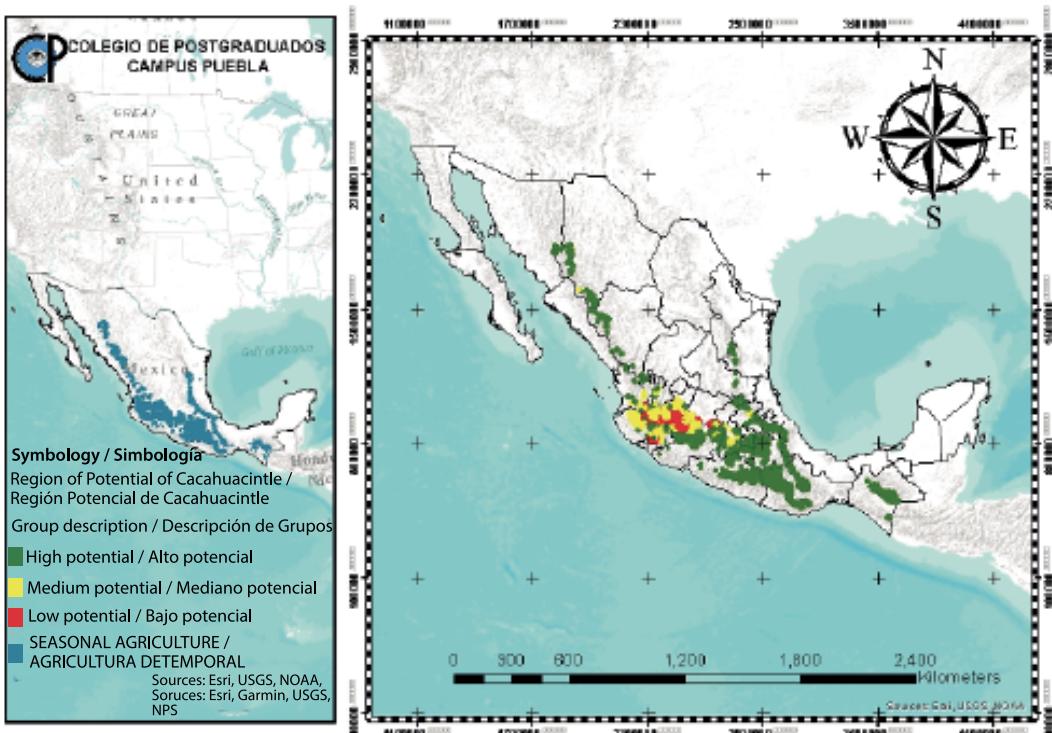
En los siguientes estados: Ciudad de México, estado de México, Guanajuato, Nayarit, Nuevo León, Oaxaca, Veracruz, Zacatecas, San Luis Potosí, Sinaloa, Colima, de acuerdo con los datos del SIAP, 2020, pese a tener potencial para su cultivo, el cacahuacintle no representa una alternativa económica frente al cultivo del maíz grano. Lo anterior puede ser debido al reciente incremento en el precio del maíz.

Por último, utilizando la técnica estadística de agrupación por medias de una muestra, ingresando variables de: IMRBRT (Ingreso del Maíz en la Región Bajo Régimen de Temporal por hectárea) ( $F=1188.47$ ,  $P = 0.000$ ) y Producción de maíz temporal por hectárea ( $F=895.44$  Y  $P=0.000$ ), el análisis de varianza anterior indica que las regiones son distintas entre sí, dados los datos seleccionados para su agrupación.

Los estados con mayor potencial para cultivar el cacahuacintle de acuerdo con el ingreso y la productividad del maíz grano son: Oaxaca con 227 municipios, Puebla con 120 respectivamente, estado de México con 66 municipios, Michoacán (65), Tlaxcala (56), Guerrero (45), Veracruz (36), Hidalgo (27), Jalisco (26), Morelos (25) Chiapas (25). La región con mediano potencial está conformada por áreas en los estados de: Jalisco, Michoacán, estado de México, Guanajuato (Figura 3). Y finalmente la región con

**Figure 3. Distribution of regions according to suitable groups to expand the cacahuacintle crop under the seasonal regime.**

**Figura 3. Distribución de regiones de acuerdo con grupos de aptitud para expansión del cultivo de cacahuacintle bajo régimen temporal.**



Project name / Nombre del proyecto	Location / Ubicación		Creator / Elaborador	Plan / Plano	Coordinate system / Sistema de coordenadas	
Cacahuacintle maize in Mexico. Characterization and determination of cultivation areas / El maíz cacahuacintle en México. Caracterización y determinación de zonas de cultivo	Country / País	Mexico / México	M.C Juan Velázquez López	Potential Distribution of cacahuacintle maize / Distribución potencial del maíz cacahuacintle	Projection / Proyección	UTM

Source: Own elaboration with data from the SIAP, 2020.

Fuente: Elaboración propia con datos de SIAP, 2020.

first, because this work usually was developed with layers of physical aspects, however, in the multi-criteria analysis proposed by Zanakis S., Solomon A., Wishart N., & Dubliss S. (1998), one of the steps is to identify and discard variables in order to improve the model, with this, a more detailed approach about the focus of the phenomena of interest can be obtained, and it also can be used as a tool to focus the actions in different fields such as politics, production and research.

### Conclusions

It was demonstrated that there are areas with suitable characteristics to expand the cacahuacintle cultivation, with this, it is concluded that this crop

bajo potencial está ubicada en los estados de Jalisco, Guanajuato, Michoacán y Colima, en esta última los ingresos por maíz grano son mayores a los ingresos por maíz cacahuacintle por lo cual no se recomienda su cultivo en esta zona.

El método utilizado en este estudio presenta una mejora al método tradicional ya que combina datos propios para la especialización de variables edafoclimáticas como lo planteado en chile por Morales, Canessa, Mattar, Orrego, & Matus (2006), otro estudio logra asociar las condiciones de las razas de maíz con las colectas de Perales H., & Golicher D. (2014), la novedad de este estudio es el regionalizar un cultivo a gran escala y también que combina

has potential and it is minimally cultivated.

The cacahuacintle is related to seasonal regions and type C template climates, and their different variations with high percentages of summer rains, likewise, to semi-cold climates. The most frequent types of soil were both, of volcanic origin and those associated with the seasonal agriculture (Vertisol, Regosol, Andosol, Litosol, Cambisol, mainly).

It is recommended to expand the cultivation where the income from the sowing of another variety of maize, has a lower economic profitability, in order to drive a correct and complementary strategy to reach an increase in the income and the welfare of rural families, it would also be a key component for the territorial rural development.

The conditioning elements to found and suggest the "PR" of cacahuacintle were mainly physical and economic. It is necessary to identify with optimal accuracy, the specific ecological niches by including technological and market variables, as well as sociocultural factors and other crops that can be related to the cacahuacintle. This study can be replicated in countries where this crop already exists, and in the case of other crops, the implications of knowing optimal areas would reduce costs and increase policy effectiveness, leading to an increase of the income, welfare and with this, to the agricultural and rural development.

*End of English version*

---

## References / Referencias

- Appendini, K. (2013). El TLCAN y el maíz: una reflexión a 20 años. *La Jornada del Campo*, (74). Disponible en: <https://www.jornada.com.mx/2013/11/16/cam-maiz.html>. Consultado noviembre 2018
- Ariel, J., Corral, R., Jesús, J. De, González, S., Manuel, J.,..., González, R. (2013). Identificación de razas mexicanas de maíz adaptadas a condiciones deficientes de humedad mediante datos biogeográficos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4(6), 829–842
- Arellano, J. L., Gámez, J. A., & Ávila, M. A. (2010). Potencial agronómico de variedades criollas de maíz cacahuacintle en el Valle de Toluca. *Fitotecnia Mexicana*, 33(4): 37–41

datos productivos y económicos, este aporte es uno de los primeros ya que usualmente se trabajaba con capas de aspectos físicos, sin embargo, en el análisis multicriterio propuesto por Zanakis S., Solomon A., Wishart N., & Dubliss S. (1998), uno de los pasos es identificar y desechar variables para poder mejorar el modelo, con ello, se puede tener un aproximación más detallada sobre la concentración del fenómeno de interés y además sirve como una herramienta para poder enfocar las acciones en distintos campos como política, producción e investigación.

## Conclusiones

Se demostró que existen áreas con características idóneas para poder expandir el cultivo del cacahuacintle, con ello se concluye que el cultivo tiene potencial y se encuentra cultivado de manera mínima.

El cacahuacintle se asocia a regiones de temporal y a climas templados de tipo C, y sus diferentes variaciones con porcentajes altos de lluvias en verano, asimismo, a climas semifríos. Los tipos de suelo más frecuentes fueron tanto de origen volcánico, como los asociados a la agricultura de temporal (Vertisoles, Regosoles, Andosoles, Litosoles, Cambisoles, principalmente).

Se recomienda expandir el cultivo donde el ingreso por sembrar otra variedad de maíz tiene menor rentabilidad económica, impulsando una estrategia adecuada y complementaria, para alcanzar aumentos en el ingreso y el bienestar de las familias rurales, también sería un componente clave en el desarrollo rural territorial.

Los elementos condicionantes para encontrar y proponer la "RP" de cacahuacintle fueron principalmente físicos y económicos. Es necesario identificar con mayor precisión, los nichos ecológicos específicos incluyendo también variables tecnológicas y de mercado, así como factores socioculturales y otros cultivos que se puedan asociar al cacahuacintle. Este estudio puede replicarse en países donde ya existe el cultivo y para otros cultivos, las implicaciones del conocimiento de áreas óptimas reducirían costos y aumentarían la efectividad de políticas, acarreando incrementos en el ingreso, el bienestar y con ello el desarrollo agrícola y rural.

*Fin de la versión en español*

---

- Barbieri, P. A., Echeverría, H. E., Sainz, H. R., & Maringolo, M. (2010). Fertilización de maíz con urea de liberación lenta: Pérdida por volatilización y eficiencia de uso de nitrógeno. *Ciencia Del Suelo*, 28(1):57–66
- Bindi, M. (2003). Instrumentos para el Monitoreo del Impacto Ambiental sobre la Producción Agrícola. Modelos para cultivos. In *Agronomiche, Scienze Università, Agroforese*. pp. 1-13 Recuperado de: <http://svsconsultora.com.ar/ciomta/downloads/modelocultivo.pdf>
- Casillas, J. M., Radillo, M. & Efremov, V. (2018). Construcciones de significados de los conceptos homeomorfismo y difeomorfismo. *Acta Latinoamérica de Matemática Educativa*, 31(1): 365–372
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad-CONABIO. (2010). Cacahuacintle. *Biodiversidad Mexicana*. Recuperado de: <https://biodiversidad.gob.mx/diversidad/alimentos/maices/razas/grupo-conico/cacahuacintle>
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad-CONABIO. (2015). Geoportal del Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad. Acervo/Agrobiodiversidadagroecosistemas/Maícesnativos/Distribuciónpotencial/CacahuacintleenMéxico/Distribución potencial de la raza de maíz (2015). Recuperado de: <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad-CONABIO. (2018a). Geoportal del Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad:acervo/climatología/precipitaciónmediananual. Recuperado de: <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad-CONABIO. (2018b). Geoportal del Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad:acervo/temperatura/isotermasmediasanuales. Recuperado de: <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad-CONABIO. (2018c). Geoportal del Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad:acervo/edafología/tiposdesuelos/edafología. Recuperado de: <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad-CONABIO. (2020a). Portal de Información Geográfica - CONABIO.acervo/vegetaciónyusodelsuelo/INEGIUsodelsueloyvegetacionSerieVI/. Recuperado de: <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>
- CONABIO. (2020b). Cacahuacintle | Biodiversidad Mexicana. Cacahuacintle. <http://www.biodiversidad.gob.mx:9999/diversidad/alimentos/maices/razas/grupo-conico/cacahuacintle>
- Coutiño, B., Vidal, V. A., Cruz, C. & Gómez, M. (2015). Características eloteras y de grano de variedades nativas de maíz de Chiapas. *Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(5): 1119–1127
- Delgadillo, J. (2006). Dimensiones territoriales del desarrollo rural en América Latina. *Problemas del Desarrollo*, 37(144): 97–120
- Driessen, P. & Deckers, J. (2001). *Lecture notes on the major soils of the world (FAO); 1st ed.*. FAO. Recuperado de: <http://www.fao.org/3/Y1899E/Y1899E00.htm>.
- El Dólar México. (2020, diciembre 31. 31/12/2020 el dólar en México. <https://www.eldolar.info/es-MX/mexico/dia/20201231>
- FIRA. (2018). Sistema de costos agrícolas Resumen de costos Sistema de costos agrícolas Memoria de cálculo Modalidad: TRADICIONAL. <https://www.fira.gob.mx/InfEspDtoXML/TemasUsuario.jsp>
- Flores, H. G., Ojeda, W. B., Flores, H. M., Sifuentes, E. I., & Mejía, E. S. (2013). Simulación del rendimiento del maíz (*Zea mays L*) en el norte de Sinaloa usando el modelo AQUACROP. *Agrociencia*, 47(4): 347–359
- González, I. F. (2015). *Evaluación Agronómica de maíz elotero y preferencias de consumidores en los municipios de Villaflores, Tuxtla Gutiérrez y Ocozocuata de Espinoza Chiapas*. Tesis de maestría en Estrategias para el desarrollo Agrícola Regional, Colegio de Postgraduados, Campus Puebla
- Hellin, J., & Keleman, A. (2013). Las variedades criollas del maíz, los mercados especializados y las estrategias de vida de los productores. *Leisa Revista de Agroecología*, 29(2): 7–9
- Hernández, A., Llanes, V., López, D., & Rodríguez, J. (2014). Características de vertisoles en áreas periféricas de la habana. *Cultivos Tropicales*, 35(4): 68–74.
- Hernández, N., Soto, F., & Caballero, A. (2009). Modelos de simulación de Cultivos: Características y Usos. *Cultivos Tropicales*, 30(1): 73–82
- Hortelano, R., Gil, A., Santacruz, A., López, H., Antonio, P., & Miranda, S. (2012). Diversidad Fenotípica de maíces nativos del altiplano Centro-Oriente del Estado de Puebla, México. *Fitotecnia Mexicana*, 35(2): 97–109
- Ibáñez, J. J. & Cosio, F. J. (2015). Luvisoles: Uso y manejo. *Un Universo invisible bajo nuestros pies. Los suelos*

- y la vida. <http://www.madrimasd.org/blogs/universo/2012/03/23/141101>
- INE, CONABIO, & SAGARPA (2008). *Agrobiodiversidad en México: el caso del maíz*. Dirección de Economía Ambiental-INE, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad-CONABIO y Sistema Nacional de Recursos Filogenéticos para la Alimentación y la Agricultura-SAGARPA. Recuperado de: <http://www2.inecc.gob.mx/dgipea/descargas/agrodiversidad.pdf>
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e informática INEGI (2005). *Guía para la interpretación de cartografía*. México. (ISBN 970-13-3654-2). Recuperado de: [http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/1329/702825231743/702825231743\\_1.pdf](http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/1329/702825231743/702825231743_1.pdf)
- INEGI (2016). *ENIGH Encuesta nacional de ingresos y gasto de los Hogares*. (In ENIGH 2016). Recuperado de: <https://doi.org/10.1520/E1886-05.2>.
- INEGI (2015). *Diccionario de Datos Edafológicos*. In INEGI (Vol. 000). INEGI. Recuperado de: [http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/2104/702825224578/702825224578\\_1.pdf](http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/2104/702825224578/702825224578_1.pdf).
- IUSS Working Group. (2015). Base referencial mundial del recurso suelo 2014 Sistema internacional de clasificación de suelos. In Actualización 2015. <https://www.iec.cat/mapasols/Doculnteres/PDF/Llibre59.pdf>
- Jácome, G. (2016). El maíz: planta portentosa. *Iberóforum*, 3(5):1-17
- Jasso, G. (2017). *Estudio preliminar para determinar variabilidad fenotípica y tamaño de muestra en terrenos de productores de maíz cacahuacintle para la producción de elote* (Tesis de ingeniería en agronomía fitotecnista). Universidad Autónoma del Estado de México, El Cerrillo Piedras Blancas, México
- Kato Yamakake, T. A., Mapes Sánchez, C., Mera Ovando, L. M., Serratos Hernández, J. A., & Bye Boettler, R. A. (2009). Origen y Diversificación del Maíz. Una Revisión Análitica (Primera Ed; . Bye R.A. Kato T A, Mapes C, MeraL M, Serratos J A, ed.). D.F, México.
- Morales S, L., Canessa M, F., Mattar, C., Orrego, R., & Matus, F. (2006). Caracterización Y Zonificación Edáfica Y Climática De La Región De Coquimbo, Chile. *Revista de La Ciencia Del Suelo y Nutrición Vegetal*, 6(3), 52–74.
- Orozco, Q., Odenthal, J., & Astier, M. (2017). Diversidad de maíces en Pátzcuaro, Michoacán, México, y su relación con factores ambientales y sociales. *Agrociencia*, 51(8): 867- 884
- Palemón, F., Gómez, N. O., Castillo, F., Ramírez, P., Molina, J. D., & Miranda, S. (2011). Cruzas intervarietales de maíz para la región más cálida de Guerrero, México. *Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 2(5): 745–757
- Perales, R., & Hugo, R. (2009). Maíz, riqueza de México. *Ciencias*, 92(93): 46–55.
- Perales, H., & Golicher, D. (2014). Mapping the diversity of maize races in Mexico. *PLoS ONE*, 9(12), 1–20
- Quevedo, D. C., Cervantes, J., Noriero, L., & Zepeda, J. M. (2017). Maíz: Sustento de vida en la cultura Teenek. Comunidad Tamaletom, Tancanhuitz, S.L.P. México. *Geografía Agrícola*, 58(5): 5–19
- Ramírez, D. P. (2017). *Viabilidad técnica, económica y financiera de una botana de maíz cacahuacintle en Calimaya, estado de México*. (Tesis de maestría en Agroindustria rural, desarrollo territorial y turismo agroalimentario). Universidad Autónoma del Estado de México. Pp. 84
- Reyes, H. R. (2015). *Zonificación de algunos cultivos hortícolas y básicos en el acuífero de Huichana-Tecozahutla Hidalgo*, México. (Tesis de maestría en ciencias en Estrategias para el Desarrollo Agrícola Regional), Colegio de Postgraduados Campus Puebla. Puebla
- Román, E., García, F., Guzmán, E., & Ayala, M. I. (2016). El maíz ancho pozolero (*Zea mays L.*) como estrategia para la seguridad alimentaria. *Etnobiología*, 14(3): 39-49
- Ron, J. R., Sánchez, J. de J., Jiménez, Á. A., Carrera, J. A., Martín, J. G., Morales, M. M., De la Cruz, L., Hurtado, S. A., Mena, S., & Rodríguez, J. G. (2006). Maíces nativos del Occidente de México I. Colectas 2004. *Scientia-CUBCA*, 8(1): 1-143
- Ruiz, C. J. A.; Durán, P. N.; Sánchez, G. J. J.; Ron, P. R.; González, E. D. R.; Medina, G. G., & Holland. B. J. 2008. Climatic adaptation and ecological descriptors of 42 maize races. *Crop Sci.* 48:1502-1512
- Ruiz, A. J., Sánchez, J. de J., Hernández, J. M., Willcox, M. C., Ramírez, G., Ramírez, J. L., & González, D. R. (2013). Identificación de razas mexicanas de maíz adaptadas a condiciones deficientes de humedad mediante datos biogeográficos. *Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4(6):829–842
- Ruiz Corral, J. A., Sánchez González, J. D. J., Ramírez Ojeda, G., Ramírez Díaz, J. L., Durán Puga, N., De la Cruz Larios, L., Medina García, G., Rodríguez Moreno, V., & Zarazúa

- Villaseñor, P. (2018). Cambio climático en México y distribución potencial del grupo racial de maíz cónico. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10:1871–1883.
- Santiago, M., & García, J. (2001). Economía de la Industrialización de la papa en México. *Latinoamericana de la papa*, 12(1): 21–43.
- Sarmiento Sarmiento, B. I. (2010). El maíz cacahuacintle y el régimen de protección especial del maíz. Estudio de caso: Santa María Nativitas. Municipio de Calimaya, Estado de México. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Metropolitana
- Sarmiento, B., & Castañeda, Y. (2011). Políticas públicas dirigidas a la preservación de variedades nativas de maíz en México ante la biotecnología agrícola. El caso del maíz cacahuacintle. *El cotidiano*, (166): 101–110.
- Sistema de información Agrícola y Pesquera (SIAP). (2020a). *Reporte Nacional. Cierre de la Producción Agrícola, Maíz Grano. Maíz Grano*. Recuperado de: <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>.
- SIAP (2020b). *Reporte Nacional. Cierre de la producción. Elote*. Recuperado de: <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>.
- SIAP Frontera agrícola Serie III, 2019. (2019). *SIAP Frontera agrícola Serie III, 2019. Servicios de Información Geoespacial*. Recuperado de: <https://drive.google.com/file/d/1Lyy5KyvcTGz1KxQ4dawzBysa48G2JYul/view?usp=shar>.
- Turiján, T. A., Damián, M. Á., Ramírez, B., Juárez, J. P., & Estrella, N. (2012). Manejo tradicional e innovación tecnológica en cultivo de maíz en San José Chiapa, Puebla. *Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(6): 1085–1100.
- Vázquez, J. L. A., Vázquez, A. J. G., & Perches, M. A. Á. (2010). Potencial agronómico de variedades criollas de maíz Cacahuacintle en el Valle de Toluca. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 33(4), 37–41.
- Welhausen, E. J., Roberts, M. L., & Hernández, E. (1951). Razas de maíz en México, su origen, características y distribución. Programa de Agricultura Cooperativo de la Secretaría de Agricultura y Ganadería de México DF y Fundación Rockefeller. p 238
- Zanakis, S. H., Solomon, A., Wishart, N., & Dubliss, S. (1998). Multi-attribute decision making: A simulation comparison of select methods. *European Journal of Operational Research*, 107(3), 507–529