

# Un modelo de la producción de maíz en la región de San Pablo Zitlaltepec, considerando técnicas de conservación de suelo y actividades económicas derivadas.

Alfonso Antonio Flores<sup>1,\*</sup>, Julio Leonel Gonzalez Huerta<sup>2</sup> y Marco Antonio Jimenez Morales<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Laboratorio de modelacion matematica,FCFM,BUAP,Puebla,Puebla

<sup>2</sup>Laboratorio de modelación matematica,FCFM,BUAP,Puebla,Puebla

Correspondence\*:  
Corresponding Author  
email@uni.edu

## 2 ABSTRACT

La agricultura ha ayudado a la humanidad desde que comenzó la etapa del sedentarismo, y con ella el cereal más importante fue cultivado, el maíz, que nos ha acompañado desde ese acontecimiento, y lo hemos cambiado a nuestro beneficio, ya sea para obtener más producción o para que se acelere su crecimiento. En este trabajo se propone un modelo, basado en teoría matemática, para estimar el crecimiento de esta planta, para así poder estimar el tiempo óptimo en el cual se debe sembrar la semilla, para así poder obtener una producción mayor, teniendo como base el poblado de Zitlaltepec de Trinidad Sanchez Santos, perteneciente al estado de Tlaxcala; como variables tenemos: el numero de hojas, la temperatura, la precipitación pluvial, la evaporación y las horas luz.

**Keywords:** Maiz, modelo , Zitlaltepec, agricultura

## 1 INTRODUCTION

La producción de maíz es de gran importancia en Puebla, tanto desde el punto de vista alimentario como el económico y social (Zepeda et al., 2020). Ya que, es un elemento fundamental en la dieta mexicana y juega un papel vital en la seguridad alimentaria del país. Sin embargo, según un estudio realizado en el centro Oriente de Puebla, existe un déficit en la relación costo de producción/ingreso de venta, lo que indica que el maíz es eficiente pero no rentable (Lopez et al., 2021).

Aunado a esto la producción de maíz enfrenta desafíos diversos relacionados con factores climáticos, manejo de suelos, y prácticas agrícolas, entre otros. A pesar de esto, se ha demostrado que, con incentivos a la producción, este cultivo puede ser competitivo [1]. Además, la producción de maíz tiene un impacto positivo en la línea de bienestar de las familias productoras, ya que les permite superar la línea de pobreza extrema [2].

Es importante destacar que la producción de maíz debe ser sostenible, abordando limitantes como la nutrición del cultivo, la calidad de siembra, la protección del cultivo y la elección del cultivar, entre otros [3]. La evaluación de la sustentabilidad de los sistemas de producción de maíz en la Península de Yucatán

demostró que el sistema alternativo es más sustentable que el convencional y el mecanizado [5].

27

Un estudio realizado en Chiapas demostró que la producción de maíz sigue siendo redituable cuando no se considera el costo de la tierra, pero se obtienen pérdidas cuando se incluye este costo en los costos de producción [4].

La importancia de los cultivos sustentables en México es innegable y está intrínsecamente ligada a la economía del país. En un contexto global en el que la sostenibilidad y la responsabilidad ambiental son temas cada vez más relevantes, los cultivos sustentables desempeñan un papel crucial en la preservación de los recursos naturales, el desarrollo económico y la seguridad alimentaria.

Para abordar estos desafíos y optimizar la producción de algunos cultivos, se han desarrollado diversos modelos matemáticos que ayudan a comprender y predecir mejor el comportamiento de este cultivo en algunas regiones.

En este contexto, el presente trabajo se enfocará en proponer un modelo matemático que nos permita establecer el mejor periodo de siembra y así aumentar la producción de maíz en el municipio de San Pablo Zitlaltépetl en el estado de Tlaxcala. Este modelo pretende ser una herramienta útil para los agricultores de la zona, ya que permitira tomar decisiones para la planificación de siembras, gestión de recursos y mitigación de riesgos.

## 2 INFORMACIÓN GENERAL DEL LUGAR

### 2.1 Ubicación

El municipio de Zitlaltepec de Trinidad Sánchez Santos perteneciente a el estado de Tlaxcala se encuentra ubicado a 2540 metros sobre el nivel del mar, en las coordenadas geográficas 19 grados 12 minutos latitud norte y 97 grados 54 minutos longitud oeste.

### 2.2 Orografía e Hidrografía

El relieve del municipio esta constituido principalmente por zonas accidentadas, pues estos comprenden el 80% de la superficie. Por otro lado, los recursos hidrograficos del municipio son un arroyo que baja del manantial de La Malinche, arroyos de caudal durante la época de lluvias localizados en las barrancas El Calvario, El Jarrito, El Zitlaltepec y una barranca que nace del centro al sureste del municipio, mantos y pozos para extracción de agua.

### 2.3 Clima y Pluvialidad

El clima se considera templado subhúmedo, con régimen de lluvias en los meses de mayo a septiembre. La dirección de los vientos en general es de norte a sur, igualmente la temperatura mínima promedio anual registrada es de 5.5 grados centígrados y la máxima de 21.9 grados centígrados. La precipitación promedio mínima registrada es de 9.2 milímetros y la máxima de 151.0 milímetros.

### 2.4 Tipo y uso de suelo

En el municipio existen cuatro grandes tipos de suelos: los fluvisoles, andosoles, regosoles y ranker. Los suelos fluvisoles comprenden sedimentos aluviales poco desarrollados y profundos. Los andosoles, son de sedimentos piroclásticos, por lo general bien desarrollados, de profundidad media a profundos, muy sueltos. Los regosoles, son de sedimentos sueltos, muy poco desarrollados, profundos, con horizonte A ócrico. Los suelos tipo ranker son poco desarrollados, delgados a profundos, poseen un horizonte A úmbrico con

menos de 25 cm., de profundidad. Las unidades de producción rural en el municipio ocupan una superficie de 4 051 hectáreas, cifra que representa el 1.7 por ciento de la superficie total del estado. El total de dicha superficie municipal es de labor, son las tierras dedicadas a cultivos anuales o de ciclo corto, frutales y plantaciones.

### 3 MORFOLOGÍA Y FISIOLOGÍA DE LA PLANTA Y GRANO DE MAÍZ

#### 3.1 Morfología

##### 3.1.1 Raíces

Son fasciculadas y su misión es aportar un perfecto anclaje a la planta, además de a absorción de nutrientes; conduciendo agua y sustancias disueltas, hacia el tallo y las hojas donde serán utilizadas. Cuando los granos germinan esta raíz fibrosa toma la iniciativa; continua la aparición de varias raíces adventicias, hasta consolidarse el sistema radicular permanente.



##### 3.1.2 Tallo

El tallo del maíz crece a partir de la raíz, por sobre el suelo, es simple, erecto en forma de caña y macizo en su interior, es robusto y no presenta ramificaciones. Su función es la conducción de materiales desde la raíz hasta las hojas y de las hojas hacia la raíz. Aparte de la producción y soporte de hojas, la panoja o flor masculina terminal; las flores femeninas axilares y las mazorcas o

frutos. Constituye un tallo herbáceo de monocotiledónea, solido, de color verde. Con alturas medias entre 0,6 m. y hasta 4,5 m. dividido en nudos y entrenudos prominentes. A nivel del entrenudo se producen las yemas que originan las mazorcas o ramas tipo chupones ocasionales.

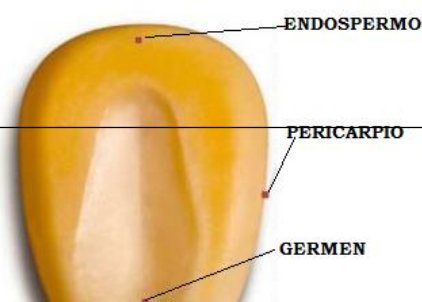
##### 3.1.3 hojas

La función principal de la hoja es la Fotosíntesis y otra actividad importante es la transpiración; dividiéndose la hoja como tal, en tres partes bien diferenciadas:

- La lamina: Que es la parte más larga y delgada de la hoja.
- La vaina: Que envuelve el tallo, y sujeta la hoja a la totalidad de la planta.
- El cuello: Es la zona de transición entre el tallo y la vaina, donde se encuentra la lígula, que evita que pase polvo y agua y se introduzcan entre el tallo y la vaina.

##### 3.1.4 Inflorescencia

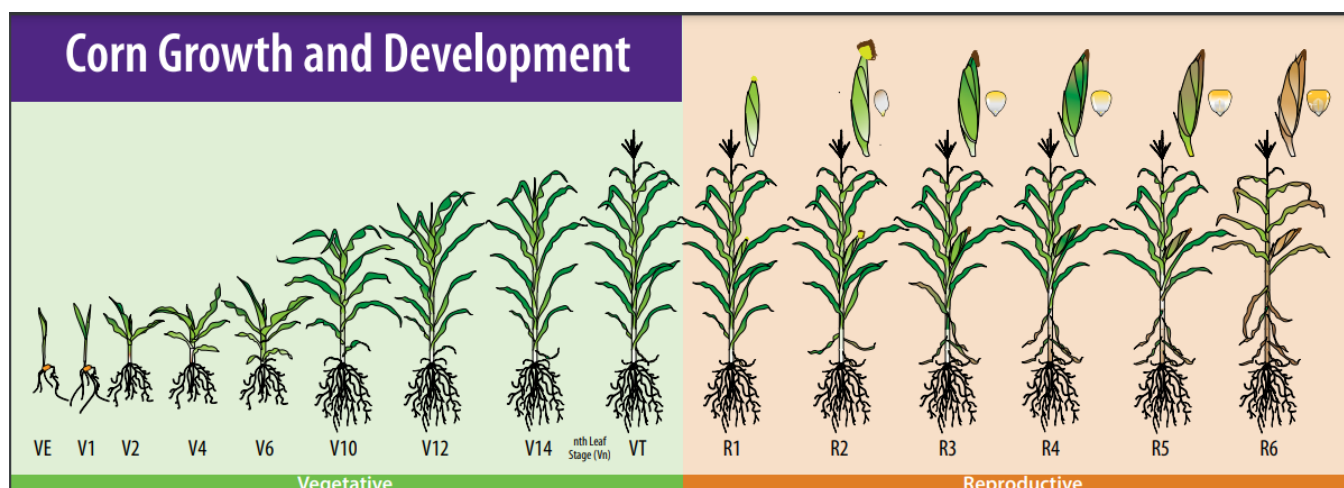
Es una planta monoica pues presenta inflorescencia masculina y femenina separada dentro de la misma planta, lo cual ha facilitado el mejoramiento del maíz, mediante un proceso denominado hibridación.



### 3.1.5 Grano

El grano del maíz es un fruto Cariópside, seco, de una sola semilla que se da en una mazorca; la cubierta de la semilla (fruto) se llama pericarpio, es dura, por debajo se encuentra la capa de aleurona que le da color al grano (blanco, amarillo, azul, morado, entre otros).

## 4 ESTADOS FENOLOGICOS DEL MAIZ



### 4.1 Ciclo del maíz

## 5 PROPUESTA DEL MODELO

Iniciaremos a construir el modelo por partes, primero partiremos de una aproximación lineal que simule el crecimiento de una sola planta de maíz hasta antes del inicio del periodo reproductivo.

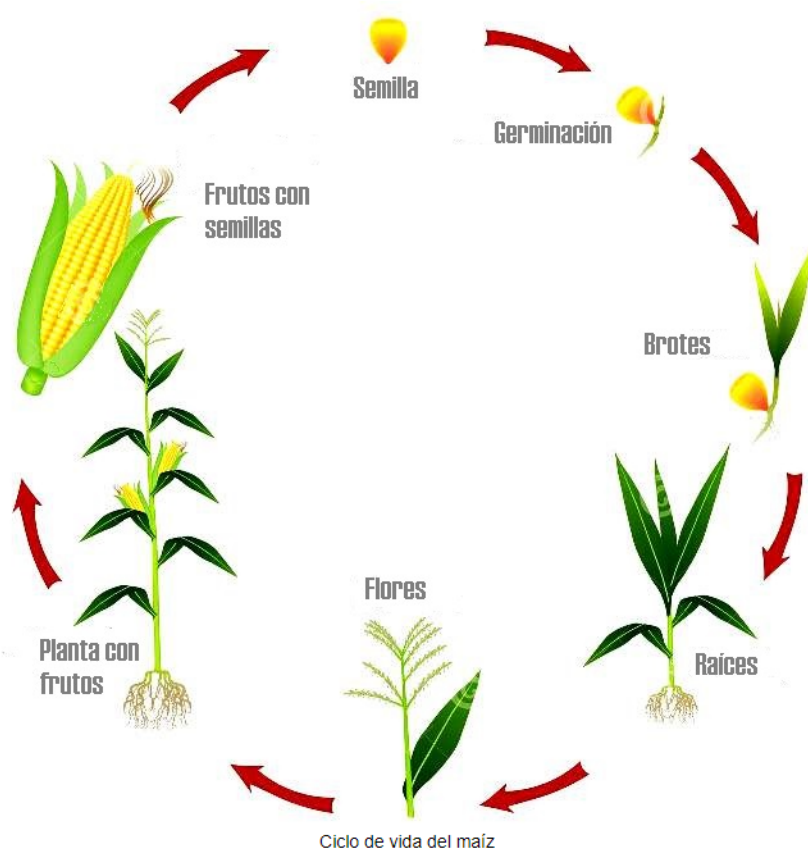
Considerando que el ciclo de producción del maíz desde la siembra hasta la cosecha es un tiempo promedio de 180 a 200 días, consideraremos el número máximo de hojas de la planta como un indicador de maduración antes del inicio de la etapa de desarrollo reproductivo (que inicia a partir del día 60-65 aproximadamente), obteniendo un máximo de 24 hojas.

Para ello tomaremos el promedio de días en que una mata genera un par de hojas bajo lo siguiente:

- El promedio de días que lleva generar una nueva hoja en la etapa de desarrollo vegetativo inicial es de aproximadamente 3 a 4 días [12][14].
- Durante la etapa de desarrollo vegetativo activo, las hojas se despliegan rápidamente, con la aparición de una nueva hoja cada 2 a 3 días [12].

Para esto consideraremos parámetros como:

- La maduración estará determinada por el número de hojas y la denotaremos como  $m$ .
- El número de hojas pares  $N_H$ .
- La temperatura en  $^{\circ}C$  denotada como  $T$ .



- 125 • La precipitación pluvial en milímetros ( $mm$ ) y se denotara como  $P_p$
- 126 • Evaporación en milímetros ( $mm$ ) denotada como  $E_p$ .
- 127 • Horas luz denotado por  $H_l$ .

128 Todos los parametros dependerán del tiempo  $t$ .

129 Vamos a considerar una aproximación de la siguiente forma

$$m(t) = F(t, T(t), P_p(t), E_p(t), H_l(t)) \quad (1)$$

130 Realizando la aproximación mediante regresion lineal multiple se pretende obtener algo como:

$$m(t) = \alpha_i(m, T, P_p, N_H) \quad (2)$$

131 Donde cada  $\alpha_i$  será una constante a trozos por etapas de maduración. Y así poder obtener una ecuación  
 132 diferencial de la forma [insertar número de ecuación], en donde el indicador de maduración  $m$  será el  
 133 número de hojas pares  $N_H$ , quedando como:

$$\frac{dN_H}{dt} = \alpha_i \begin{pmatrix} T(t) \\ P_p(t) \\ E_p(t) \\ H_l(t) \end{pmatrix} \quad (3)$$

134 Y el  $\alpha_i$  quedara determinado como:

$$\alpha_i(N_H, t) = \begin{cases} \alpha_{i,2} & \text{si } 0 \leq N_H < 2, t \in (0, \tau_1) \\ \vdots & \\ \alpha_{i,24} & \text{si } 22 \leq N_H < 24, t \in (\tau_{22}, \tau_{24}) \end{cases} \quad (4)$$

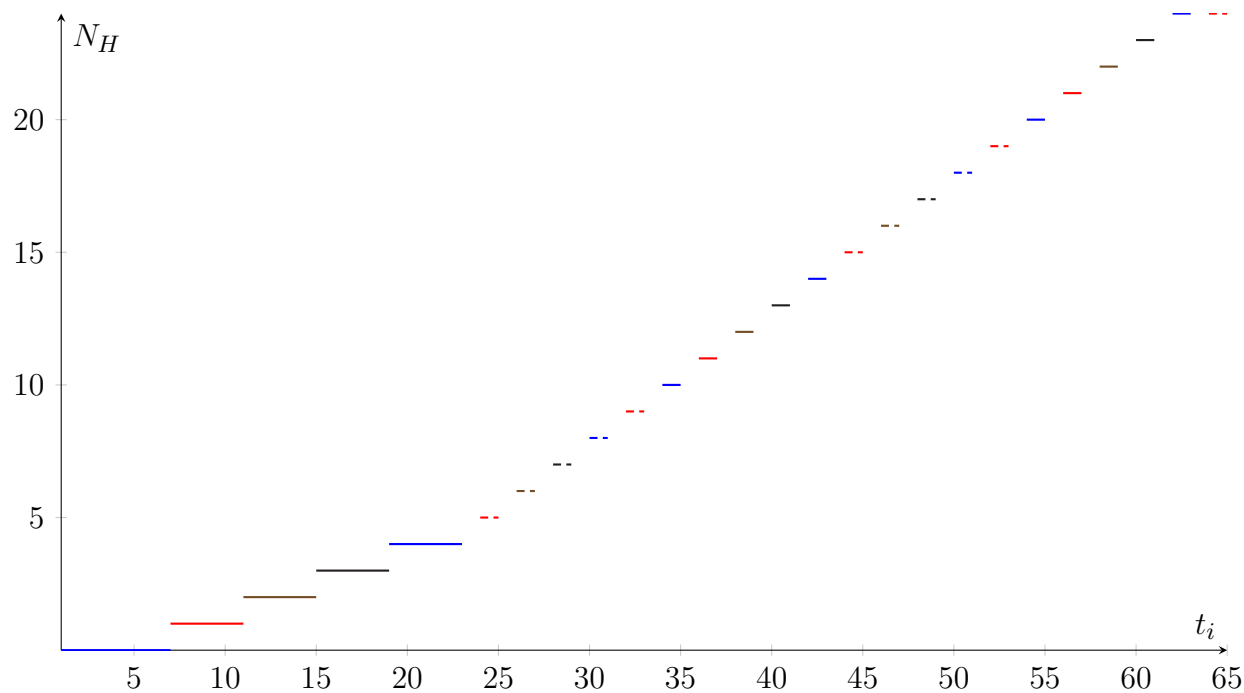


Figure 1. Tiempo en desarrollar un par de hojas

6 ARTICLE TYPES

135 For requirements for a specific article type please refer to the Article Types on any Frontiers journal page.  
136 Please also refer to Author Guidelines for further information on how to organize your manuscript in the  
137 required sections or their equivalents for your field

7 MANUSCRIPT FORMATTING

138 7.1 Heading Levels

139 7.2 Level 2

140 7.2.1 Level 3

141 7.2.1.1 Level 4

142 7.2.1.1.1 Level 5

143 7.3 Equations

144 Equations should be inserted in editable format from the equation editor.

$$\sum x + y = Z \tag{5}$$

145 7.4 Figures

146 Frontiers requires figures to be submitted individually, in the same order as they are referred to in the  
147 manuscript. Figures will then be automatically embedded at the bottom of the submitted manuscript. Kindly



148 ensure that each table and figure is mentioned in the text and in numerical order. Figures must be of  
149 sufficient resolution for publication see here for examples and minimum requirements. Figures which are  
150 not according to the guidelines will cause substantial delay during the production process. Please see here  
151 for full figure guidelines. Cite figures with subfigures as figure 2a and 2b.

#### 152 7.4.1 Permission to Reuse and Copyright

153 Figures, tables, and images will be published under a Creative Commons CC-BY licence and  
154 permission must be obtained for use of copyrighted material from other sources (including re-  
155 published/adapted/modified/partial figures and images from the internet). It is the responsibility of the  
156 authors to acquire the licenses, to follow any citation instructions requested by third-party rights holders,  
157 and cover any supplementary charges.

### 158 7.5 Tables

159 Tables should be inserted at the end of the manuscript. Please build your table directly in LaTeX. Tables  
160 provided as jpeg/tiff files will not be accepted. Please note that very large tables (covering several pages)  
161 cannot be included in the final PDF for reasons of space. These tables will be published as Supplementary  
162 Material on the online article page at the time of acceptance. The author will be notified during the  
163 typesetting of the final article if this is the case.

### 164 7.6 International Phonetic Alphabet

165 To include international phonetic alphabet (IPA) symbols, please include the following functions: Under  
166 useful packages, include:

167 `\usepackage{tipa}`

168 In the main text, when inputting symbols, use the following format:

169 `\text{[symbolname]}`

170 e.g.

171 `\textgamma`

## 8 NOMENCLATURE

### 172 8.1 Resource Identification Initiative

173 To take part in the Resource Identification Initiative, please use the corresponding catalog number and  
174 RRID in your current manuscript. For more information about the project and for steps on how to search  
175 for an RRID, please click here.

### 176 8.2 Life Science Identifiers

177 Life Science Identifiers (LSIDs) for ZOOBANK registered names or nomenclatural acts should be listed  
178 in the manuscript before the keywords. For more information on LSIDs please see Inclusion of Zoological  
179 Nomenclature section of the guidelines.



## 9 ADDITIONAL REQUIREMENTS

180 For additional requirements for specific article types and further information please refer to Author  
181 Guidelines.

## CONFLICT OF INTEREST STATEMENT

182 The authors declare that the research was conducted in the absence of any commercial or financial  
183 relationships that could be construed as a potential conflict of interest.

## AUTHOR CONTRIBUTIONS

184 The Author Contributions section is mandatory for all articles, including articles by sole authors. If an  
185 appropriate statement is not provided on submission, a standard one will be inserted during the production  
186 process. The Author Contributions statement must describe the contributions of individual authors referred  
187 to by their initials and, in doing so, all authors agree to be accountable for the content of the work. Please  
188 see here for full authorship criteria.

## FUNDING

189 Details of all funding sources should be provided, including grant numbers if applicable. Please ensure to  
190 add all necessary funding information, as after publication this is no longer possible.

## ACKNOWLEDGMENTS

191 This is a short text to acknowledge the contributions of specific colleagues, institutions, or agencies that  
192 aided the efforts of the authors.

## SUPPLEMENTAL DATA

193 Supplementary Material should be uploaded separately on submission, if there are Supplementary Figures,  
194 please include the caption in the same file as the figure. LaTeX Supplementary Material templates can be  
195 found in the Frontiers LaTeX folder.

## DATA AVAILABILITY STATEMENT

196 The datasets [GENERATED/ANALYZED] for this study can be found in the [NAME OF REPOSITORY]  
197 [LINK].

## REFERENCES

198 Lopez, J. V., Sanchez, J. P. J., and Valverde, B. R. (2021). Percepcion y analisis de las politicas publicas de  
199 la produccion de maiz en el centro oriente de puebla, mexico. *Cuadernos De Desarrollo Rural* 17  
200 Zepeda, J. A. Z., Valverde, B. R., Lopez, L. L. V., and Elizalde, S. P. (2020). La pequeña empresa agricola  
201 familiar, la produccion de maiz y la linea de bienestar en puebla, mexico

## FIGURE CAPTIONS



**Figure 2.** Enter the caption for your figure here. Repeat as necessary for each of your figures



**Figure 2a.** This is Subfigure 1.



**Figure 2b.** This is Subfigure 2.

**Figure 2.** Enter the caption for your subfigure here. (A) This is the caption for Subfigure 1. (B) This is the caption for Subfigure 2.