

# 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:** Maíz, Modelo , Zitlaltepec, Modelacion Matemática

## 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 Lopez et al. (2021). 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 (Zepeda et al., 2020).

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(Presello et al., 2022) . 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 (Uzcanga-Perez et al., 2022).

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 Abarca et al. (2023) [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 recurso 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.

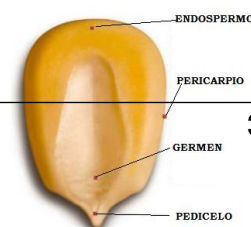
##### 3.1.3. hojas

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

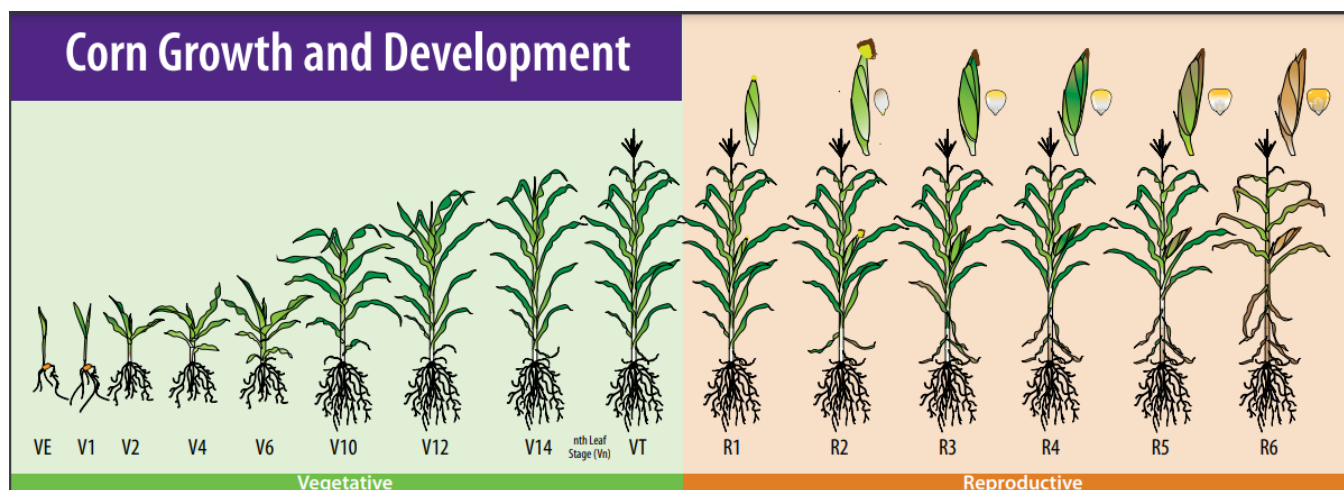
Es una planta monoica pues presenta inflorescencia masculina y femenina separada dentro de la misma planta, lo cual ha facilitado el mejoramiento del maíz, mediante un proceso denominado hibridación.



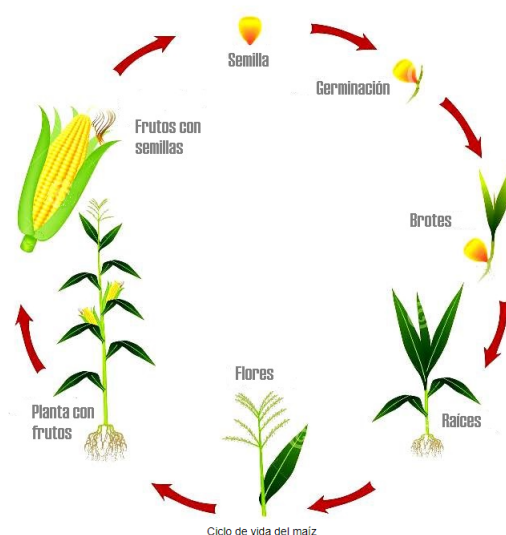
## 3.1.5. Grano

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. DATOS

Para la obtención de los datos del crecimiento utilizaremos los datos de la temperatura  $T$  en  $^{\circ}C$ , la precipitación pluvial  $P_p$ , evaporación  $E_p$  y Horas luz denotado  $H_l$ . Para ello se utilizarán programas de

simulación como **AquaCrop** que es un modelo de simulación de crecimiento de los cultivos desarrollado por la FAO. Este software simula la respuesta del rendimiento de los cultivos.

## 6. 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  $T$ .
- La precipitación pluvial en milímetros ( $mm$ ) y se denotara como  $P_p$
- Evaporación en milímetros ( $mm$ ) denotada como  $E_p$ .
- Horas luz denotado por  $H_l$ .

Todos los parametros dependerán del tiempo  $t$ .

Vamos a considerar una aproximación de la siguiente forma

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

Realizando la aproximación mediante regresión lineal múltiple se pretende obtener algo como:

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

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

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

136 Y el  $\alpha_i$  quedara determinado como:

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

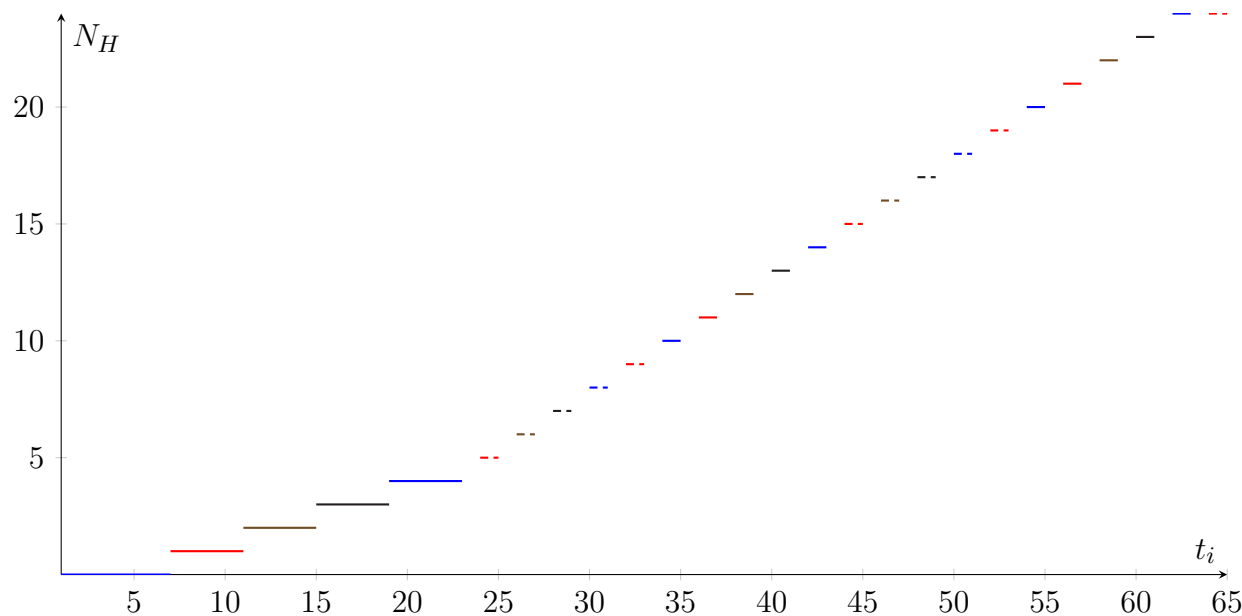


Figura 1. Tiempo en desarrollar un par de hojas

7. ARTICLE TYPES

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

REFERENCIAS

Abarca, O. R., Zavala, D. G. I., and Estrada, A. G. (2023). Analisis economico de la produccion de maiz en chiapas, mexico, en la region de la frailesca. *Ciencia Latina Revista Cientifica Multidisciplinar*

Lopez, J. V., Sanchez, J. P. J., and Valverde, B. R. (2021). Percepcion y analisis de las politicas publicas de la produccion de maiz en el centro oriente de puebla, mexico. *Cuadernos De Desarrollo Rural* 17

Presello, D. A., Gimenez, F. J., and Ferraguti, F. J. (2022). La produccion de maiz en argentina. *ACI Avances en Ciencias e Ingenierias*

Uzcanga-Perez, N. G., Cano-Gonzalez, A., and Chanatasig-Vaca, C. I. (2022). Evaluacion de sustentabilidad de los sistemas de produccion de maiz en la peninsula de yucatan. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*

Zepeda, J. A. Z., Valverde, B. R., Lopez, L. L. V., and Elizalde, S. P. (2020). La pequeña empresa agricola familiar, la produccion de maiz y la linea de bienestar en puebla, mexico

Datos promedios de días 15 de Abril al 15 de Noviembre (215 días) de los años 2016-2021

Día	Precipitación $P_p$	Evaporación $E_p$	Temp. Max $T_M$	Temp. Min $T_m$
1	0	7.8	24	12
2	0	7.8	24	9
3	0	7.8	24	9
4	0	7.8	24	9
5	0	7.8	24	9
6	0	7.8	24	9
7	0	7.8	24	9
8	0	7.8	24	9
9	0	7.8	24	9
10	0	7.8	24	9
11	0	7.8	24	9
12	0	7.9	24	9
13	0	7.9	24	9
14	0	7.9	24	9
15	0	7.9	24	9
16	0	7.9	24	9
17	0	7.9	24	9
18	5	7.9	24	9
19	13	7.9	24	9
20	14	7.9	24	9
21	5	7.9	24	9
22	4	7.9	24	9
23	2	7.9	24	9
24	0	7.9	24	9
25	0	7.9	24	9
26	0	7.9	24	9
27	0	7.9	24	9
28	0	7.9	24	9
29	0	7.9	24	9
30	0	7.9	24	9
31	0	7.9	24	9
32	0	7.9	24	9
33	0	7.9	24	9
34	0	7.9	24	9
35	0	7.9	24	9
36	0	7.9	24	9
37	0	7.9	24	9
38	0	7.9	24	9
39	0	7.9	24	9
40	0	7.9	24	9
41	0	7.9	24	9
42	0	7.9	24	9
43	0	7.9	24	9
44	0	7.9	24	9
45	0	7.9	24	9
46	0	7.9	24	9
47	0	7.9	24	9
48	0	7.9	24	9
49	0	7.9	24	9
50	0	7.9	24	9
51	0	7.9	24	9
52	0	7.9	24	9
53	0	7.9	24	9
54	0	7.9	24	9
55	0	7.9	24	9
56	0	7.9	24	9
57	0	7.9	24	9
58	0	7.9	24	9
59	0	7.9	24	9
60	0	7.9	24	9
61	0	7.9	24	9
62	0	7.9	24	9