

# Rendimiento y componentes del rendimiento en maíz (*Zea mays* L.) nativo bajo condiciones de inundación

Yield and yield components in native corn (*Zea mays* L.) under flooded conditions

Recepción del artículo: 27/02/2023 • Aceptación para publicación: 18/04/2023 • Publicación: 30/06/2023

● <https://doi.org/10.32870/ecucba.vi20.299>

**José Alberto Salvador Escalante Estrada**

Colegio de Postgraduados. Posgrado en Botánica. Campus Montecillo. Montecillo Mpio de Texcoco  
Edo. de Méx. México.

**Yolanda Isabel Escalante Estrada\***

Universidad Autónoma de Guerrero. Instituto de Investigación Científica, Área de Ciencias Naturales.  
Chilpancingo, Gro. México.

**Cid Aguilar Carpio**

Colegio de Postgraduados. Posgrado en Botánica. Campus Montecillo. Montecillo Mpio de Texcoco  
Edo. de Méx. México.

\*Autor para correspondencia: jasee@colpos.mx

## Resumen

En condiciones de temporal o riego, el cultivo puede estar sujeto a condiciones inundación, esto provoca efecto sobre el crecimiento y rendimiento, que está en función de la etapa fenológica en que ocurra. El objetivo del estudio fue determinar el efecto de la inundación en la etapa vegetativa y reproductiva sobre el crecimiento y rendimiento del maíz nativo Azul. El estudio se realizó en Montecillo, Texcoco, Estado de México de clima templado, La siembra se realizó el 12 de mayo de 2018 en un suelo arcilloso con pH de 7.8 a la densidad de población de 4.16 plantas m<sup>-2</sup>. Para dar las condiciones de inundación se combinó el agua de lluvia con el riego. Los resultados muestran que en maíz Azul, la inundación en el período vegetativo reduce el tamaño del dosel y la biomasa. En el período de floración genera tallos de menor grosor, mayor porcentaje de plantas sin mazorca, mazorca pequeñas, menor número de granos por hilera, granos de menor tamaño, menor índice de cosecha, biomasa y rendimiento en grano por planta y m<sup>-2</sup>. El ciclo de crecimiento del maíz se acorta en diez días. La altura del tallo no es afectada.

**Palabras clave:** Fenología, crecimiento inicial, número de mazorcas.

## Abstract

Under rainfed or irrigated conditions, the crop may be subject to flood conditions, whose effect on growth and yield depends on the phenological stage in which it occurs. The objective of the study was to determine the effect of flooding in the vegetative and reproductive stages on the growth and yield of native Azul corn. The study was carried out in Montecillo, Texcoco, State of Mexico with a temperate climate. Planting was carried out on May 12, 2018 in a clay soil with a pH of 7.8 at a population density of 4.16 plants m<sup>-2</sup>. To give the flood conditions, rainwater was combined with irrigation. It is concluded that in Azul maize, flooding in the vegetative period reduces the size of the canopy and biomass. During the flowering, it generates a less thick stem, higher percentage of plants without ears, small ears, fewer grains per row, smaller grain, lowest harvest index, biomass and grain yield per plant and m<sup>-2</sup>. The growth cycle of maize is shortened by ten days. The stem height is not affected.

**Keywords:** Phenology, initial growth, number of ears.

## Introducción

Un cultivo puede desarrollarse bajo un contenido variable de humedad en el suelo. Esto se refleja en el crecimiento y rendimiento. De esta manera, se puede tener condiciones de falta o exceso de agua. En un primer caso generado por baja e irregular distribución de la precipitación y el segundo ocurre, sobre todo en suelos arcillosos y no bien nivelados, en donde la lluvia o el riego pueden ocasionar condiciones de inundación. El daño sobre el crecimiento y rendimiento de los cultivos dependerá de su duración y la fase fenológica en que ocurra. En etapa vegetativa podría afectarse el tamaño de la maquinaria fotosintética. Calderón *et al.* (2021) señalan que la inundación en etapas tempranas de crecimiento de maíz Azul reduce la altura de la planta, el número de hojas, el área foliar y la biomasa. Cuando ocurre en la reproductiva en particular en floración del maíz puede afectar la cantidad de polen (Carangal, 1988). La inundación debido a la falta de oxígeno ocasiona estrés en el sistema radical, acumulación de compuestos tóxicos por la respiración anaeróbica y reducción de la absorción de nutrientes (Singh y Ghildyal, 1980), en consecuencia limita el crecimiento y rendimiento de los cultivos. El presente trabajo pretende evaluar el efecto de la inundación durante el desarrollo y variables agronómicas del maíz nativo bajo condiciones de campo, de lo cual los estudios no son abundantes.

El objetivo del estudio fue determinar en maíz Azul el efecto de las condiciones de inundación:

1. En la etapa vegetativa sobre variables del crecimiento y la biomasa; y 2) En la etapa reproductiva sobre características del tallo, la biomasa, rendimiento y componentes del rendimiento.

## Materiales y métodos

Se realizaron dos experimentos uno sobre condición de inundación en la etapa vegetativa (experimento I) y otro en la etapa de floración (experimento II).

### *Localidad de estudio y manejo del experimento*

El estudio se realizó en Montecillo, Texcoco, Estado de México (19° 29' N, 98° 53' O, a 2250 m

de altitud) con clima templado, (Cw, García, 2005) con lluvias en verano, temperatura media anual de 14.6 °C y 558.5 mm de precipitación). La siembra de maíz nativo Azul se realizó el 12 de mayo de 2018, en un suelo arcilloso y con pH de 7.8, CE de 1.9 dS m<sup>-1</sup> y MO de 3.5%. La densidad de población fue 4.16 plantas m<sup>-2</sup> con patrón de siembra de 0.80m X 0.30m. La unidad experimental fue cuatro surcos de cuatro m de longitud. Se fertilizó con 100-100-00 de NPK. El 50% de N y todo el P se aplicó antes de la siembra y el 50% restante de N a los 35 días en la primera escarda. Para dar las condiciones de inundación se combinó el agua de lluvia con el riego. Esto último en el caso de que el agua de lluvia se infiltrara en su totalidad.

### *Experimento I*

#### *Inundación en el período vegetativo*

#### *Diseño de tratamientos*

Los tratamientos consistieron en tener al maíz nativo Azul bajo: a) T1. Testigo sin inundación (NI) y; b) T2. Inundación por diez días a partir de que la planta presenta la primera hoja ligulada (CI). Para este fin se “cabecearon” los surcos para que el agua no saliera de la parcela. Después del tratamiento se abrieron los surcos para desalojar el agua. El diseño experimental fue bloques al azar con cuatro repeticiones.

#### *Variables registradas*

A los 45 días (cosecha) se tomaron 10 plantas de la unidad experimental para registrar por m<sup>-2</sup>: la altura de la planta, el número de hojas y la biomasa, el índice de área foliar y la altura del cultivo. La radiación interceptada se calculó mediante el método de la regla de madera (Adams *et al.*, 1977).

### *Experimento II*

#### *Inundación en el período reproductivo*

#### *Diseño de tratamientos*

Los tratamientos consistieron en la siembra del maíz (*Zea mays* L.) nativo cultivar Azul bajo condiciones de inundación por diez días a partir de la floración y un testigo sin inundación. El diseño experimental de bloques al azar con cuatro repeticiones. También se “cabecearon” los surcos para que el agua no se saliera de la parcela durante el tratamiento de inundación

#### *Variables registradas*

#### *Fenología y elementos del clima*

Se registró la ocurrencia a las etapas fenológicas como

días a emergencia, de floración masculina y madurez fisiológica. Durante el desarrollo del cultivo, la temperatura máxima (TMAX), la temperatura mínima (TMIN) y la precipitación pluvial (PP, mm).

*Cosecha*

A la cosecha para maíz se evaluó la altura de la planta (unidades), el grosor del tallo (en la parte media, cm), la materia seca o biomasa total (gm<sup>-2</sup>), rendimiento de grano (g m<sup>-2</sup>), tamaño del grano (peso medio por grano, g). El número de granos m<sup>-2</sup>, longitud de mazorca (cm), grosor de mazorca (en parte media, cm). En una muestra al azar de diez mazorcas se registró el número de hileras, número de granos por hilera y el número de granos por mazorca. El índice de cosecha (IC) que representa la eficiencia en acumular materia seca en el grano o en el órgano de interés económico en relación al total acumulado en la planta o en el cultivo (Escalante *et al.*, 2015) se calculó con el siguiente planteamiento: IC = RG/BT) \*100; donde IC es el índice de cosecha; RG es el rendimiento en grano en este caso; BT es la biomasa total con base a materia seca.

*Análisis de varianza*

A las variables en estudio, se aplicó un análisis de varianza y la prueba de comparación de medias (Tukey  $\alpha = 0.05$ ). con el paquete estadístico SAS versión 9.2 (SAS, 2011).

**Resultados y discusión**

*Experimento I*

*Inundación en período vegetativo*

*Días a emergencia y condiciones climáticas*

La emergencia de las plántulas (E) fue a los 8 días después de la siembra. Durante el desarrollo de las plantas de maíz, la temperatura máxima del ambiente se mantuvo entre los 23 °C y la mínima fue de 9.5 °C. Hou *et al.* (2014) mencionan que la temperatura base (T) del maíz es de 10°C, mientras que la temperatura óptima ((T<sub>o</sub>)) es de 30°C. Esto indica que el desarrollo del maíz en el estudio realizado, fue limitado por estas condiciones.

*Observación general sobre el dosel*

Bajo inundación se observó una senescencia prematura. Esto coincide con Peña-Castro (2014)

quien menciona que los síntomas del estrés por inundación incluyen la clorosis, retrasó el crecimiento y ocasiona necrosis en tejidos.

El análisis de varianza presentó diferencias significativas en las variables en estudio. La magnitud de estas fueron menor con la inundación (Cuadro 1).

*Altura de la planta*

Bajo inundación, la altura de la planta se redujo en 30 cm, 57% menor en relación al testigo que presentó 70 cm. Tendencias semejantes señalan Calderón *et al.* (2021).

*Número de hojas, índice de área foliar y radiación interceptada*

Debido a la inundación, el número de hojas fue menor en 65% y el índice de área foliar en 59% (Cuadro 1). Cabe señalar, que a la madurez fisiológica el número de hojas en la planta es definida por el genotipo como se deduce del estudio de Warnock (Warnock *et al.*, 2006) y no por los cambios ambientales. Esto indica que la inundación en etapa vegetativa afecta el tamaño del dosel vegetal y en consecuencia la radiación interceptada por el cultivo, la cual fue de 12% en el testigo y de 6% bajo inundación, lo que puede reflejarse en la producción de materia seca (Escalante *et al.*2020).

*Biomasa*

Bajo inundación, la producción de biomasa se redujo en 61%., lo que indica que la actividad fotosintética se limita por esta condición y la producción de materia seca o biomasa. Esto es consecuencia de que bajo esta condición, se tiene un menor dosel y menor radiación interceptada, puesto que ambas variables están relacionadas (Escalante *et al.*, 2020).

Cuadro 1. Altura de la planta, número de hojas, índice de área foliar y biomasa total por m<sup>2</sup>, del maíz Azul bajo condiciones de inundación en la etapa vegetativa. Montecillo México. 2018. Datos a los 45 días.

Tratamiento	Altura (cm)	NH	IAF	RI (%)	Biomasa (g m <sup>-2</sup> )
Testigo	70 a	17 a	1.0 a	12a	54 a
Inundación	40 b	6 b	0.5 b	6 b	21 b
Tukey 0.05	15	8	0.25	2	10

NH =número de hojas; IAF = índice de área foliar, RI= radiación interceptada.

*Experimento II*

*Inundación en etapa reproductiva*

*Fenología y elementos del clima*

La ocurrencia de las fases fenológicas fue similar

entre tratamientos de inundación, a excepción de la madurez fisiológica, que en esta condición fue diez días antes que en no inundación (testigo). Así, la emergencia ocurrió a 8, y la floración a 80 días de la siembra. La madurez fisiológica en el testigo fue a los 129 días de la siembra. Durante el desarrollo del cultivo, la TMAX media fue de 26°C y la TMIN de 9 °C; y la suma de la PP de 330 mm. En la Figura 1, se presenta la dinámica de la TMAX, TMIN y de la PP durante el desarrollo del cultivo.

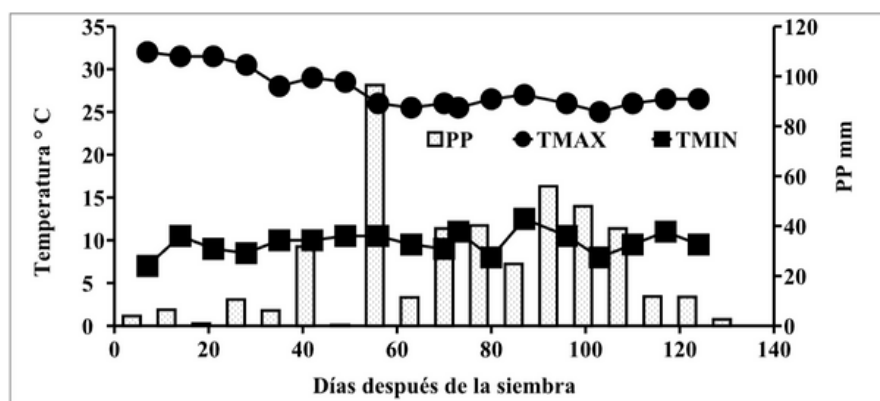


Figura 1. Temperatura máxima (TMAX), mínima (TMIN) media decenal y precipitación pluvial (PP, mm) suma decenal durante el desarrollo del maíz nativo Azul. Montecillo municipio de Texcoco, Estado de México. México. Verano 2018.

#### Altura y grosor del tallo

La altura del tallo (cm) no presentó diferencias significativas por efecto de la inundación, debido que al inicio de los tratamientos, las plantas ya tenían su altura final. (Cuadro 2). En cuanto al diámetro o grosor del tallo este se redujo bajo inundación, posiblemente debido a una menor acumulación de materia seca en el tallo ocasionada por el exceso de agua en el suelo. Respuestas semejantes fueron reportadas por Cun y Herrera (2018).

#### Biomasa

La inundación durante la floración fue de 478 g m<sup>-2</sup> y fue 21% inferior al testigo (608 g m<sup>-2</sup>). Lo que sugiere una reducción en la actividad fotosintética y en consecuencia menor acumulación de materia seca

en el dosel (Cuadro 2). La biomasa del testigo (608 g m<sup>-2</sup>) fue inferior a la reportada por Rojas *et al.* (2017) quienes presentan en maíz Azul una biomasa de 758 g m<sup>-2</sup>, lo que se atribuye a las diferentes condiciones climáticas para los años de estudio.

#### Índice de cosecha

El índice de cosecha que representa la eficiencia en acumulación de materia seca en el grano, fue más bajo con inundación, alcanzando valores de 30%, mientras que en el testigo fue de 50%. Esto indica

que la inundación en la floración limita entre otros el proceso de translocación de materia seca hacia el grano.

#### Rendimiento de grano, número de granos y tamaño del grano

Bajo inundación solamente el 20% de las plantas presentó mazorca. A su vez, por m<sup>-2</sup> fue menor el número de granos, grano de menor peso individual y en consecuencia un rendimiento en grano menor (Cuadro 2).

#### Longitud y grosor de mazorca, número de hileras, granos por hilera y granos por mazorca

En inundación las plantas que presentaron mazorcas, fueron de menor longitud, grosor y número de granos por hilera. Tendencias semejantes en este atributo fueron reportados por

Cuadro 2. Altura de planta (ALT, cm), grosor del tallo (GT, cm), biomasa (BT, g m<sup>-2</sup>), índice de cosecha (IC), rendimiento en grano (RG, g m<sup>-2</sup>), tamaño del grano (TG, g) y número de granos m<sup>-2</sup> (NG) en maíz nativo Azul bajo condiciones de inundación. Montecillo, Municipio de Texcoco, Edo., de México. Verano 2018.

Tratamiento	ALT (cm)	GT (cm)	BT (g m <sup>-2</sup> )	IC (%)	RG (g m <sup>-2</sup> )	TG (g)	NG m <sup>-2</sup>
Testigo	245 a	23 a	608 a	50 a	309 a	0.300 a	1030a
Inundación	235 a	20 b	478 b	30 b	142 b	0.200 b	811 b
Tukey 0.05	20	2	112	4	120	0.050	150

Cuadro 3. Longitud de mazorca (LM, cm), grosor de mazorca (GM, cm), número de hileras (NH) y número de granos por hilera (NGH) del maíz nativo Azul bajo condiciones de inundación. Montecillo, Municipio de Texcoco, Edo. de México. Verano 2018.

Tratamiento	LM (cm)	GM (cm)	NH	GH	NGM
Testigo	11 a	6 a	13 a	20 a	260 a
Inundación	8 b	3 b	13 a	15 b	195 b
Tukey 0.05	2	2	3	3	40

Cun y Herrera (2018). El número de hileras no fue afectado. El número de hileras y granos por hilera del testigo del maíz Azul es cercano al reportado por Escalante *et al.* (2011). Estos resultados indican que bajo inundación en la floración, el maíz Azul presenta mayor porcentaje de plantas sin mazorca, menor rendimiento en grano debido a la reducción en longitud de mazorca, granos por mazorca debido a menos granos por hilera. Así como una biomasa más baja en relación al testigo (Cuadro 3).

### Conclusiones

En maíz Azul, la inundación en el período vegetativo reduce el tamaño del dosel y en consecuencia la producción de biomasa.

La inundación en el período reproductivo en particular a partir de la floración genera mayor porcentaje de plantas sin mazorca y en consecuencia menor rendimiento en grano y biomasa por m<sup>-2</sup>.

La inundación a partir de la floración, ocasiona reducción en el grosor del tallo, índice de cosecha, rendimiento en grano y número de granos por superficie.

Así mismo, se producen granos de menor tamaño, mazorcas de menor tamaño con menor número de granos por hilera y el ciclo de crecimiento del maíz se acorta en diez días.

La altura no es afectada por la inundación durante el período reproductivo.

## Literatura citada

- Adams, J.E. and G.F., Arkin. (1977). A light interception method for measuring row crop growth ground cover. *Soil. Sci. Am. J.* 41: 789-792.
- Calderón, C., Escalante, J. y Díaz, R.(2021). Crecimiento inicial del maíz (*Zea mays* L.) en función de la humedad del suelo. En *Academia Journals. Trabajos de Investigación en la Educación Superior*. Tomo 2, 148-153. Editorial Academia Journals. Puebla Pue. México.
- Carangal, V.R. (1988). *Maize in rice-based cropping systems*. En De Leon C., G. Granados and R.N. Wedderburn, eds. Proc. 3rd Asian Reg. Maize Workshop, Kunming, PR, China, 8-15 Jun. 1, 119-140.
- Cun, R. y Herrera, J. (2018). Efecto del sobre humedecimiento en el maíz para la proyección de sistemas de drenaje. *Revista Ingeniería Agrícola*, 8(2), 68-73.
- Escalante, J., Rodríguez, M. y Escalante, Y. (2011). Índices de análisis de crecimiento y rendimiento en maíz. En Sepúlveda, D. (Coord). *Investigación en Economía, Matemáticas, Física y sus aplicaciones* (pp. 137-143). Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo México, .
- Escalante, E. y Kohashi, J. (2015). *El rendimiento y crecimiento del frijol: manual para la toma de datos*. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Estado de México. México.
- Escalante, J., Rodríguez, M. y Escalante, Y. (2020). Perfil de radiación, rendimiento y componentes del frijol de guía (*Phaseolus vulgaris* L.). En Pérez, F., Figueroa, E., Salazar, R., Godínez, L. y Sepúlveda, D. (Comp). *Modelación matemática y agronomía*. Asociación Mexicana de Investigación Interdisciplinaria A.C. (ASMIIA, A.C.) Editado en México.
- García, E. L. (2005). *Modificación al sistema de clasificación climática de Köppen*. (4a. ed). Universidad nacional Autónoma de México (UNAM). D.F. México.
- Hou, P., Y., Liu, R., Xie, B., Ming, D., Ma, S., Li, y X., Mei. (2014). Temporal and spatial variation in accumulated temperature requirements of maize. *Field Crops Res.* 158, 55-64.
- Peña-Castro, J. M. (2014). Respuesta molecular de las plantas ante el estrés por inundación: lecciones aprendidas del gen SUB1A. *Revista fitotecnia mexicana*, 37(4), 325-337.
- Rojas-Victoria, N. J., J. A. S., Escalante-Estrada., F. V., Conde-Martínez, J. A., Mejía-Contreras, y Díaz-Ruiz. R. (2017). Rendimiento de frijol ayocote y maíz del agrosistema asociado en función del número de plantas por mata. *Terra Latinoamericana*, 35(3), 219-228.
- SAS Institute Inc. (2011). SAS®93 Guide to Software updates. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- Singh, R. y Ghildyal, B. (1980). Soil submergence effects on nutrient uptake, growth, and yield of five corn cultivars. *Agron. J.* 72, 737-741.
- Warnock, R., Valenzuela, J., Trujillo, A., Madriz, P. y Gutiérrez, M. (2006). Área foliar, componentes del área foliar y rendimiento de seis genotipos de caraota. *Agronomía Trop.* 56(1), 21-42.