

### Introducción

El cultivo de maíz es uno de los más importantes en el territorio de Guatemala, especialmente, por su vínculo con la seguridad alimentaria y nutricional de la población guatemalteca. Según ICTA (2021), el consumo per cápita/año para Guatemala se estima en 114 kg (250 libras). Dada la importancia del maíz en la dieta alimentaria y su sensibilidad ante fenómenos meteorológicos como: el incremento de temperatura, escasez y/o exceso de agua, vientos fuertes, entre otros; situación que podría empeorar por el efecto del cambio climático. Por tales razones resulta necesario la búsqueda de tecnologías (técnicas, semillas, conocimiento, entre otros) que permitan reducir los impactos de cambios en el clima. Noriega (2019) indica que el 52% de las tierras cultivables en comunidades de Nahualá son empleadas para la producción de maíz, por lo tanto, debe ser imperativo la adaptación.

Cepal et al. (2013), basado en modelaciones climáticas, afirman que podría darse un incremento de temperatura y consigo una probable disminución en la producción de maíz (kg/ha) para Guatemala. IPCC (2022), menciona que un incremento 1.5°C de temperatura podría incrementar el riesgo de pérdidas de cosechas en la mayoría de regiones productoras. De acuerdo a Cepal et al. (2013) se proyecta para áreas específicas del altiplano occidental posibles incrementos en la producción de hasta 1.7 tn/ha. La investigación se ejecutó en condiciones ambientales de Santa Lucía Uatlán (2,400 msnm) y con un manejo agronómico que buscó complementar las carencias nutricionales del suelo, uso de germoplasma nativo procedentes de Tzamyuyup, Nahualá; Sololá y Santa Lucía Uatlán (cuadro 1).

Biota, S.A. y TNC (2014) señalan que la gradiente térmica para la temperatura media anual en Guatemala y con relación a la elevación sobre el nivel del mar es de 0.0054°C por cada metro de altitud, es decir, por cada 100 metros que se eleve o se reduzca la altitud la gradiente es de 0.54°Celsius. Bajo dicha premisa se estableció la investigación para identificar los efectos de un incremento de temperatura.

### Objetivos:

#### Objetivo general:

Identificar el efecto provocado por el incremento de temperatura en la producción de maíz para el territorio de Sololá.

#### Objetivos específicos:

1. Identificar el efecto del incremento de temperatura sobre la producción (kg/ha) de maíces procedentes de una altitud 2700 msnm.
2. Determinar el material con mayor capacidad productiva (kg/ha) bajo condiciones edáficas y climáticas de Santa Lucía Uatlán.
3. Deducir las dificultades u oportunidades existentes en el cambio de temperatura para los materiales nativos.

### Metodología



Figura 1. metodología de investigación

### Resultados

La investigación fue ejecutada entre abril-diciembre de 2021, considerando la etapa de siembra hasta la cosecha, con un acumulado de 237 días de ciclo, siendo un acumulado menor, comparado con el ciclo del cultivo de maíz en condiciones de Tzamyuyup, Nahualá, que usualmente es 277 días o 9.2 meses. Sin embargo, dicho periodo puede ser mayor bajo condiciones temperaturas más bajas (frías), como afirma ASOUCUCH(2019) para las condiciones del departamento de Huehuetenango. Durante el desarrollo de esta investigación se tuvo una lluvia acumulada anual (precipitación) en Santa Lucía Uatlán de 1,320 mm. En cuanto a temperatura se registraron valores máximos y mínima entre el rango de 27.6°C y 4.3°C, respectivamente. Dichos valores se compararon con los extremos de condiciones de Tzamyuyup para el 2021 y se registra una diferencia de 2.97°C para la temperatura máxima y 0.91°C para la temperatura mínima. La gradiente térmica al reducir altitud fue cercano a lo reportado por Biota & TNC (2014) de 0.54°C por cada 100 metros.

El comportamiento de la producción de los cuatro materiales (germoplasma) de maíz evaluados (Figura 3), resalta ligeramente el material local (Santa Lucía Uatlán), a excepción del bloque tres (de cinco bloques establecidos). Los materiales procedentes de Tzamyuyup presentaron rendimientos menores al material local y el procedente de Sololá con la misma altitud, a excepción del bloque dos, donde el material cuatro superó los otros materiales evaluados (Figura 3). Asimismo, se registró una mortalidad entre 5 % y 20 % en los materiales de Santa Lucía Uatlán y Tzamyuyup provocados por fuertes vientos y consecuencia de ello se evidenció acame de las plantas de maíz.

El análisis estadístico de las medias de producción de los materiales de maíz en estudio (Figura 4) indica que los rendimientos promedios son similares para los materiales M1, M2 y M4. Los primeros dos siendo de orígenes altitudinales similares (2400 msnm) y Tzamyuyup (2700 msnm). El material tres (Tzamyuyup porte bajo) mostró la media más ba-

Cuadro 1. Descripción de materiales de maíz (germoplasma) utilizados y su origen altitudinal.

Material utilizado	Origen altitudinal
M1 Santa Lucía Uatlán rendidor	2400 msnm
M2 Sololá tolerante	2400 msnm
M3 Tzamyuyup porte bajo	2700 msnm
M4 Tzamyuyup tolerante	2700 msnm



Figura 2. Fase reproductiva de los materiales de maíz en evaluación

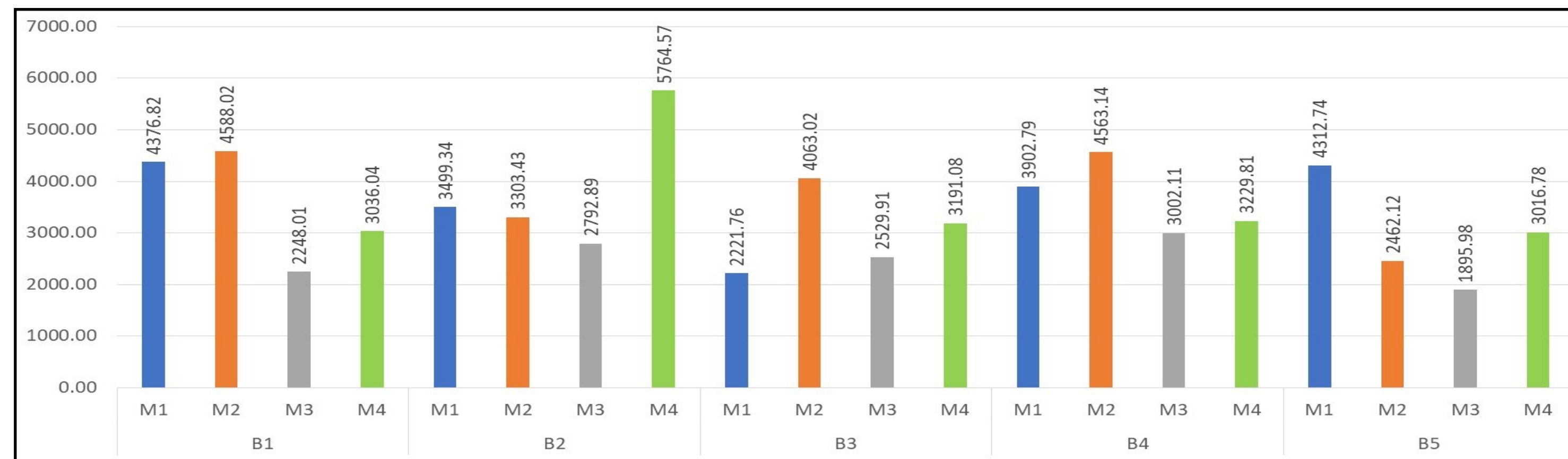


Figura 3. Comportamiento de la producción de maíz kg/ha de los materiales evaluados

ja en comparación de los otros tres materiales. Sin embargo, tomando como referencia el promedio de rendimiento local de Tzamyuyup en el 2017 de 2158.9 kg/ha (Noriega 2019), se observó un incremento del 15% del material tres de Tzamyuyup y el material cuatro presentó un incremento del 69% del rendimiento. Ban, Y., Leng, G., & Tang, Q. (2022), señalan que a relación positiva entre el rendimiento del maíz y la temperatura en países del hemisferio norte, muestra que la temperatura de la temporada de crecimiento no puede alcanzar el grado adecuado para el crecimiento del maíz, por lo tanto, el aumento de la temperatura traerá un aumento en el rendimiento del maíz. ICC con otras investigaciones en paralelo (otros posters) en la zona de estudio en el 2021, se observó una tendencia de incremento en el rendimiento. Lo anterior concuerda con la afirmación de CEPAL (2013) para el altiplano occidental de Guatemala.

El análisis de varianza bajo un modelo bloques al azar evidenció (ver cuadro 2) que estadísticamente no existen diferencias significativas entre los promedios en cuanto a producción (kg/ha) de los cuatro materiales evaluados. Sin embargo, se encontró probables efectos del incremento de la temperatura sobre el crecimiento de las plantas como una reducción promedio 0.30 mts en la altura del material de Tzamyuyup (M4) al compararlo en su sitio de origen. Además, se observó una reducción temporal para alcanzar el estado fenológico de floración y llenado de granos. Dicha situación concuerda con lo afirmado por Harrison L. et al. (2011), que indican que las temperaturas más cálidas aceleran el desarrollo de la planta, acortando la duración de los períodos de crecimiento necesarios para el tamaño óptimo de la planta y el grano.

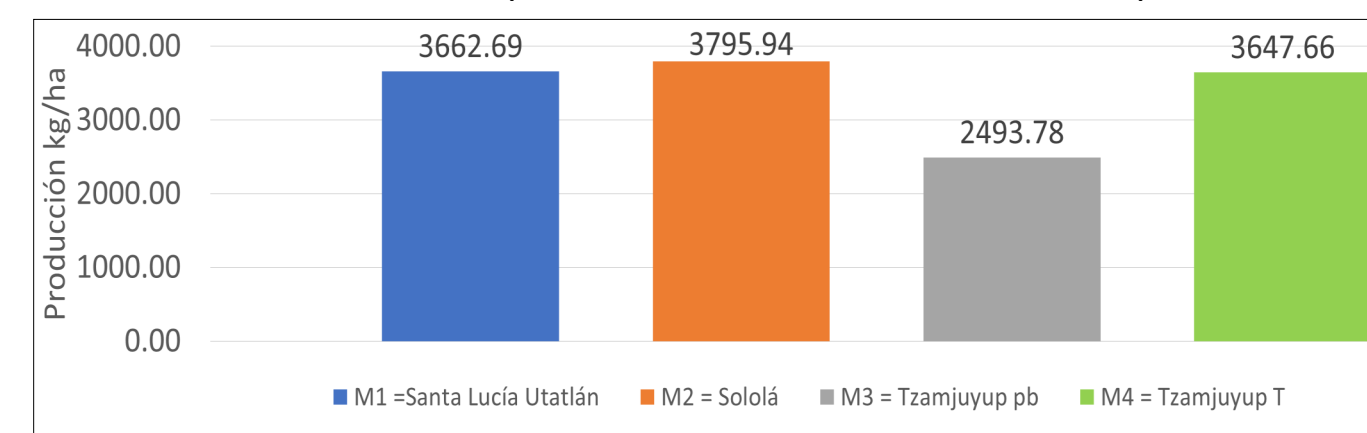


Figura 4. Producción promedio kg/ha de los materiales de maíz evaluados.

Cuadro 2. Cuadro de análisis de la varianza para la producción kg/ha de materiales evaluados.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	8272614.52	7	1181802.07	1.41	0.2874
Tratamiento	5541737.26	3	1847245.75	2.20	0.1408
Bloque	2730877.26	4	682719.31	0.81	0.5406
Error	10074639.84	12	839553.32		
Total	18347254.36	19			

### Conclusiones

1. En condiciones de Santa Lucía Uatlán el ciclo del cultivo para los maíces de Tzamyuyup se redujo en un periodo de 40 días, comparado con los 277 días en promedio que dura el ciclo en la segunda localidad.
2. El incremento de temperatura (estimado entre 1.9°C) generó efectos positivos en el rendimiento de los dos materiales de maíz provenientes de Tzamyuyup (2700 msnm), dándose un incremento de 15 y 69 % del rendimiento registrado localmente, mostrando su adaptabilidad a una zona agroecológica diferente.
3. En un comparativa estadística, los materiales evaluados no presentan diferencias significativas entre sus medias de rendimientos kg/ha, a pesar de orígenes altitudinales.
4. A través de esta investigación se identificó que los materiales con mayores rendimientos corresponden al M2 = Sololá con 3795.94 kg/ha seguido del material M1 = local (Santa Lucía Uatlán) con 3,662.69 kg/ha y M4 = Tzamyuyup tolerante con 3,647.66 kg/ha.
5. El material con la menor producción kg/ha corresponde a M3= Tzamyuyup porte bajo con 2,493.78 kg/ha.

### Recomendaciones

1. Los materiales locales siguen siendo una fuente importante para la producción de maíz, sin embargo, se debe considerar evaluar la respuesta de estos materiales en altitudes más bajas y en altitudes mayores con la finalidad de sistematizar su capacidad de respuesta a estos cambios, considerando responder a cambios en el clima en el mediano y largo plazo.
2. Para futuras investigaciones considerar los efectos de los vientos sobre el maíz. Al conducir estudios a la intemperie se debe considerar la implementación de estructuras que reduzcan los posibles efectos de vientos fuertes y con ello reducir el sesgo por dicha amenaza.
3. Se recomienda sistematizar los rendimientos de los materiales de maíz en el contexto de procedencia y el manejo cultural y agronómico, fundamentalmente, con aspectos potenciales como tolerancia a escasez de agua, porte bajo, ciclo corto, entre otros.

### Literatura citada

- ASOUCUCH. (2019). Caracterización morfológica de 32 materiales de maíz en el municipio de Concepción Huista Huehuetenango. <https://weseedchange.org/wp-content/uploads/2020/05/Caracterizaci%C3%B3n-Morfol%C3%B3gica-de-32-Materiales-de-Maiz-en-Concepcion-Huista-ASOUCUCH-2019.pdf>
- ICTA. (2021). Programa maíz. <https://www.icta.gob.gt/maiz>
- Ban, Y., Leng, G., & Tang, Q. (2022). Compounding precipitation effect in modulating maize yield response to global warming. *International Journal of Climatology*, 42(14), 7397–7407. <https://doi.org/ezbusc.usc.gal/10.1002/ijoc.7652>
- Biota, S. A., & TNC. (2014). Análisis de vulnerabilidad ante el cambio climático en el altiplano occidental de Guatemala. <https://www.usaid-cncg.org/wp-content/uploads/2014/11/Analisis-de-vulnerabilidad-ante-el-cambio-climatico-en-el-al.pdf>
- CEPAL, SICA, & SECAC. (2013). Impactos Potenciales del Cambio Climático sobre los granos Básicos en Centroamérica. México. Obtenido de <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/27171>
- Harrison L, Michaelsen J, Funk C, Husak G. 2011. Effects of temperature changes on maize production in Mozambique. *Clim. Res.* 46, 211–222.
- IPCC. 2022. Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability (No. Sixth Assessment Report), Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.
- Noriega, K. (2019). Evaluación de la tecnología agrícola en conservación de suelos para la adaptación al cambio climático, aldea Tzamyuyup, Nahualá, Sololá. Trabajo de graduación, Universidad de San Carlos de Guatemala, EPS, Mazatenango. Recuperado de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/12256/1/>
- Reyes, L. (2011). Diagnóstico general de los recursos naturales renovables, determinación hídrica y servicios prestados en la aldea Tzamyuyup, Nahualá, Sololá, Trabajo de graduación, Universidad de San Carlos Guatemala, recuperado de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/6865/1/>