Impacto del cambio climático en el rendimiento del cultivo de maíz (*Zea mays*) en El Salvador

Ricardo Antonio Choriego Marín

Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Honduras
Noviembre, 2018

ZAMORANO
CARRERA DE AMBIENTE Y DESARROLLO

Impacto del cambio climático en el rendimiento del cultivo de maíz (*Zea mays*) en El Salvador

Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero en Ambiente y Desarrollo en el Grado Académico de Licenciatura

Presentado por

Ricardo Antonio Choriego Marín

Zamorano, Honduras
Noviembre, 2018

Impacto del cambio climático en el rendimiento del cultivo de maíz (*Zea mays*) en El Salvador

Ricardo Antonio Choriego Marín

Resumen. El consumo de maíz es fundamental en la dieta de los salvadoreños. Los rendimientos de maíz están condicionados por el clima y siempre han variado a lo largo de los años. Los objetivos del estudio son predecir, cuantificar y comparar los rendimientos históricos y futuros del maíz de El Salvador relacionándolos con variables climáticas. El Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN) y el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) de El Salvador, proporcionaron datos climáticos a nivel mensual de 25 estaciones y los rendimientos de maíz por variedad cultivada (2 variedades) y época de siembra (tres épocas). Se seleccionaron 12 estaciones para simular el rendimiento histórico (1987-2017), mediante una regresión lineal múltiple utilizando los datos de temperatura media, precipitación, humedad relativa, índice de temperatura humedad y el índice de El Niño 3.4 (ENOS). Para el análisis del rendimiento futuro se utilizaron 14 modelos de circulación general bajo el escenario RCP 8.5, para estimar los rendimientos promedios a futuro (2020-2050). Los resultados demuestran que no existe diferencia significativa entre los rendimientos promedios observados y simulados del período histórico (1987-2017), para las dos variedades y tres épocas. A futuro, bajo los escenarios climáticos, la variación de los rendimientos para las variedades osciló entre -30 y el 30% con respecto al promedio histórico observado, mientras que el rendimiento paras las épocas fue más variable, oscilando entre -50 y 80%.

Palabras clave: El Niño Oscilación Sur, época de siembra, variedad cultivada.

Abstract. Corn is a central component in the diet of Salvadorans. Climatic conditions and corn yield have always varied. The objectives of the study are to predict, quantify and compare historical and future maize yields of El Salvador, relating those yields to climatic variables. The Ministry of Environment and Natural Resources (MARN) and the Minister of Agriculture and Livestock (MAG) of El Salvador, provided monthly climatic data of 25 stations and maize yields by cultivated variety (two varieties) and season (three season). Only 12 stations were used for historical performance (1987-2017), which was carried out by means of multiple linear regressions using temperature, relative humidity, the temperature index and the El Niño 3.4 index (ENSO). For the analysis of future performance, 14 general circulation models were used under the RCP 8.5 scenario to estimate the average yields to the future (2020-2050). Results show that there are no differences between the observed and simulated average yields in the historical period, maize variety and season also had no significant effect on the two varieties and three seasons. In the future, under the climatic scenarios, the variation of the yields by variety ranged between -30 and 30% with respect to the historical data, while the yield per season variation was greater, between -50 and 80%.

Key words: Cultivated variety, El Niño Southern Oscilation, sowing season.

CONTENIDO

Portadilla i
Página de firmas ii
Resumen iii
Contenido iv
Índice de Cuadros, Figuras y Anexos v

1. INTRODUCCIÓN 1

2. METODOLOGÍA 4

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 12

4. CONCLUSIONES 37

5. RECOMENDACIONES 38

6. LITERATURA CITADA 39

7. ANEXOS 43

ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadros Página

1. Ecuaciones de rellenado de datos de las estaciones meteorológicas de El Salvador..... 8
2. Modelos de Circulación General (GMC) utilizados en el estudio. 10
3. Análisis estadísticos preliminares de los datos climatológicos. 13
4. Tendencia climática histórica anual en El Salvador. 14
5. Tendencia climática histórica mensual en El Salvador. 15
6. Ecuaciones de regresión lineal para la predicción de los rendimientos de maíz de la variedad mejorada 17
7. Ecuaciones de regresión lineal para la predicción de los rendimientos de maíz para la variedad nacional..... 18
8. Evaluación de los rendimientos de maíz promedios observados y modelados para la variedad mejorada. 20
9. Evaluación de los rendimientos de maíz promedios observados y modelados para la variedad nacional..... 20
10. Ecuaciones de regresión lineal para la predicción de rendimientos de maíz para la época de primera. 22
11. Ecuaciones de regresión lineal para la predicción de rendimientos de maíz para la época de postrera. 23
12. Ecuaciones de regresión lineal para la predicción de rendimiento de maíz para la época de apante 24
13. Evaluación de los rendimientos de maíz promedios observados y modelados para la época de primera 26
14. Evaluación de los rendimientos de maíz promedios observados y modelados para la época de postrera. 27
15. Evaluación de los rendimientos de maíz promedios observados y modelados para la época de apante. 27
16. Rendimiento promedio de maíz por variedad cultivada de los modelos evaluados de 2020-2040 bajo el escenario de RCP 8.5..... 28
17. Rendimiento de maíz promedio por época de siembra de los modelos evaluados de 2020-2050 bajo el escenario de RCP 8.5. 32

Figuras Página

1. Mapa de zonas productoras de maíz..... 4
2. Diagrama de flujo de metodología utilizado para la predicción de

rendimientos de maíz a futuro bajo el escenario de RCP 8.5. 5
3. Mapa de estaciones meteorológicas convencionales de El Salvador. 6
4. Ejemplo de coeficiente de Angot para la precipitación de las estaciones meteorológicas de El Salvador. 12
5. Rendimiento de maíz promedio por época de siembra histórico (1987-2017) 14
6. Corrección del sesgo para el parámetro de precipitación de la estación de Ahuachapán 15
7. Variabilidad climática del período 2020-2050 en la estación de Ahuachapán. 25
8. Distribución geográfica de los rendimientos de maíz promedios de la variedad mejorada de 2020-2040 bajo el escenario de RCP 8.5 29
9. Distribución geográfica de los rendimientos de maíz promedios de la variedad nacional de 2020-2040 bajo el escenario de RCP 8.5. 30
10. Distribución de rendimientos de maíz promedios en la época de primera de 2020-2050 bajo el escenario de RCP 8.5. 33
11. Distribución de rendimientos de maíz promedios en la época de postrera de 2020-2050 bajo el escenario de RCP 8.5. 35
12. Distribución de rendimientos de maíz promedios en la época de apante de 2020-2050 bajo el escenario de RCP 8.5. 36

Anexos Página

1. Glosario de términos..... 43
2. Temperatura media en grados centígrados y su variación por período (1950 a 2006), El Salvador..... 44
Municipios de El Salvador según la ganancia o pérdida neta que tendrán para el año 2030 de zonas aptas para el cultivo de café, caña de azúcar, frijol, maíz y sorgo 44
3. Gráficas de continuidad de temperatura, precipitación y humedad relativa para las estaciones meteorológicas de El Salvador..... 45
4. Rendimientos de maíz promedios de la variedad mejorada de 2020-2050 bajo el escenario de RCP 8.5..... 47
5. Rendimientos de maíz promedios de la variedad nacional de 2020-2050 bajo el escenario de RCP 8.5..... 49
6. Rendimientos de maíz promedios de la época de primera de 2020-2050 bajo el escenario de RCP 8.5. 51
7. Rendimientos de maíz promedios de la época de postrera de 2020-2050 bajo el escenario de RCP 8.5..... 54
8. Rendimientos de maíz promedio de la época de apante de 2020-2050 bajo el escenario de RCP 8.5. 57

1. INTRODUCCIÓN

En El Salvador, el maíz es el producto de mayor importancia en la canasta básica de la población. En condiciones climáticas adecuadas o mediante el uso del riego, el maíz es el cereal más productivo y rentable si se dan variedades mejoradas en condiciones favorables y manejo apropiado (Instituto Interamericano de Coperación para la Agricultura [IICA], 2017). De acuerdo a la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO) el consumo de maíz anual per cápita en El Salvador es de 80.51 kg en las áreas urbanas y 127 kg en el área rural, siendo el mayor consumidor de maíz en la región centroamericana, con el 95% de su producción destinada para al consumo humano.

El Salvador se caracteriza por ser el país centroamericano con mayor porcentaje de variedades mejoradas cultivadas. El 90% de las variedades de maíz son mejoradas contra un 54% de las variedades de maíz en comparación al resto de Centroamérica, siendo el país con mayor identidad y pureza genética en sus semillas de maíz (Ferrufino, 2009; Méndez, Morris y Olson, 2012). El 95% de la población salvadoreña consume maíz (principalmente en forma de tortilla), tanto en las áreas urbanas como rurales, sin importar mucho el nivel económico de las personas (Menchú y Méndez, 2011).

Durante los últimos años los rendimientos de maíz han tenido mucha variación. Según datos de los últimos 5 años, del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN), debido a la irregularidad de lluvias en la época de mayo a agosto. Esto coincide con la siembra de primera y postrera (mayo-julio y agosto-octubre, respectivamente), la variación en la lluvia afecta el establecimiento y desarrollo temprano de la planta de maíz. Mientras que en la época de apante (noviembre-enero) la producción no depende de la lluvia. Durante los primeros días después de la siembra (15 a 30 días), el estrés hídrico puede influir en el rendimiento posterior del cultivo. De manera general, el cultivo de maíz necesita un promedio unos 5 mm diarios de precipitación (IICA, 2017; Ortas, 2008).

El principal fenómeno que produce variabilidad climática en la región centroamericana es el fenómeno de El Niño Oscilación del Sur (ENOS). A éste se le atribuye responsabilidad por la disminución de producción de maíz en 2015 en todo el país. Adicionalmente, el cambio climático también influye en los rendimientos de maíz. El Salvador se encuentra en la región de los trópicos, donde los efectos del cambio climático varían de región a región. En la costa del Pacifico se prevén efectos de sequías, mientras que en la costa Atlántica se prevén inundaciones. Sin embargo, el aumento de temperatura beneficiaría momentáneamente el rendimiento de maíz (Magrin et al., 2014). En El Salvador se estima que la sequía provocada por el fenómeno de El Niño en el 2015, causó pérdidas alrededor del 64% en la producción de maíz (IICA, 2016).

Dados los diferentes escenarios climáticos para la región centroamericana, la variación de temperatura oscilaría entre 1.5 °C a 4 °C, y la precipitación disminuiría entre un 10 y 30% para el 2100 (IICA, 2014). Además, los efectos de El Niño se intensificarían por incremento de la temperatura, lo que tendrá un impacto directo en la producción agrícola. Se prevé que para el año 2100 los rendimientos agrícolas se reduzcan entre el 12 al 50% (IICA, 2014). Según Hidalgo et al. en el 2013, estimaron que en Centroamérica la precipitación disminuiría entre un 5 y 10%, mientras que la temperatura aumentará 3 °C al final para el año 2099. Según Imbach et al. (2012), en la región centroamericana el cambio de temperatura oscilará entre 1.8 °C y 3.8 °C, además la precipitación disminuiría entre 70 a 120 mm.

A partir del quinto informe del Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), se actualizaron los modelos de predicción los cuales utilizan los diferentes escenarios de RCP (Representative Concentration Pathway). Los cuales evalúan los diferentes forzamientos radiativos esperados (antropogénicos y naturales) desde la actualidad hasta el 2100 (Collins et al., 2013; Suazo y Rodríguez, 2017). Para esto se utilizan los Modelos de Circulación General (GMC, por sus siglas en inglés). Estos simulan las condiciones climáticas a nivel mundial a partir de la inclusión de distintas variables climáticas (Hidalgo, 2014).

Al evaluar los escenarios a futuro, el IPPC utiliza los cuatro escenarios de RCP 2.6, 4.5, 6.0 y 8.5. Para el presente estudio se evaluaron los posibles rendimientos de maíz únicamente bajo el escenario de RCP 8.5. Este escenario asume un forzamiento radiativo que alcanza 8.5 W/m^2 para el 2100 y se mantiene en aumento. Este se caracteriza por ser el más alto. Alcanza el valor 8.5 W/m^2 y continuará en aumento por varios decenios más y constituye el más pesimista de los escenarios con respecto a los resultados de las gestiones globales de los Gases de Efecto Invernadero (GEI) (Collins et al., 2013; Heras, Picatoste y Rodríguez, 2014).

En El Salvador el cambio climático expone la vulnerabilidad de la población a la ocurrencia de eventos extremos (Cabrera y Amaya, 2012). El cambio climático tendrá una gran repercusión en 111,389 pequeños productores de granos básicos y 11,753 empleados fijos y 137,870 empleados temporales (Dirección General de Estadíticas y Censos [DIGESTYC], 2005), que se verán afectados por la disminución en la producción de maíz en El Salvador. Estas pérdidas de cultivos se deben 57.5% por variaciones climáticas (30.9% por sequías y 26.6% debido a inundaciones) (Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional [USAID], 2015). A esto se le puede añadir el aumento en frecuencia e intensidad de sequías, y de la variabilidad climática observada durante los últimos años en El Salvador (Bouroncle, Imbach, Läderach, Rodríguez, y Fung, 2015).

A causa del cambio climático, habrá un déficit hídrico y consecuentemente un cambio en las zonas aptas para los cultivos disminuyendo la producción de maíz a nivel nacional. Sin embargo, existe evidencia que los agricultores están implementando nuevas variedades para sobrellevar estos condicionantes (Keleman y Bellon, 2009).

A partir de inicios del siglo pasado, según los registros del MARN, la temperatura promedio anual ha aumentado en un más de 1 °C, esto coincide con lo propuesto por la

Fundación para la Investigación del Clima (FIC) en el 2018. La cual determinó que en la región del trópico la temperatura media ha aumentado un 1 °C a partir del siglo XX.

En Honduras y El Salvador, se prevé que los rendimientos del maíz en todas las áreas productoras actuales disminuirán para el 2025. En El Salvador, las pérdidas anuales podrían llegar a 136,000 toneladas, con un valor cercano a los USD 45 millones. Alrededor de un millón de familias de pequeños agricultores siembran frijol y maíz en Centroamérica con bajos rendimientos (1.5 t/ha para maíz y 0.7 t/ha para fríjol) en 2.5 millones de hectáreas. Adicionalmente, dentro del mismo país existen zonas de mayor riesgo para la producción tales como: los departamentos de Cuscatlán, La Unión, San Miguel y Santa Ana. Dadas las condiciones climáticas de los lugares, y su vulnerabilidad, estos departamentos son zonas más propensas a tener una mayor disminución en los rendimientos de maíz y frijol en los próximos años (Eitzinger et al., 2013).

De acuerdo a un estudio realizado por Ordaz et al. (2010), en el que se estudió el efecto de la temperatrura y la precipitacón en el rendimiento de maíz en El Salvador para el 2100, se encontró que la temperatura y la precipitación tienen una razón cuadrática negativa con respecto a el rendimiento de maíz. Es decir, la temperatura y precipitación aumentan la producción de maíz, llegan a un máximo y luego al aumentar cualquiera de las variables, el rendimiento comienza a disminuir. En el caso de la temperatura promedio anual, bajo este escenario se obtuvo el máximo rendimiento de maíz con una temperatura de 24 °C. Mientras que, el punto óptimo para la precipitación fue de 140 mm.

A la fecha, dada la importancia que tiene el maíz en la agricultura y economía de El Salvador, y que el fenómeno de ENSO y el cambio climático tienen incidencia en los rendimientos del mismo. Sin embargo, no se han encontrado estudios que integren todas estas variables y verifiquen los posibles escenarios futuros del maíz en El Salvador a nivel de época de siembra, únicamente en la producción anual de maíz. Debido a la susceptibilidad de los rendimientos de maíz al clima, los objetivos del estudio son:

- Establecer la relación entre los rendimientos históricos de maíz y las variables climáticas en distintas regiones de El Salvador.
- Predecir los rendimientos de maíz bajo un escenario de cambio climático con base en las posibles variaciones de temperatura, precipitación, humedad relativa, el Niño y el índice de temperatura-humedad en las distintas regiones de El Salvador.
- Cuantificar el rendimiento de maíz en El Salvador por cada una de las zonas geográficas bajo un escenario de cambio climático.
- Comparar los rendimientos de maíz históricos de El Salvador con los rendimientos a futuro.

2. METODOLOGÍA

Descripción del sitio de estudio.

La República de El Salvador, limita al Norte y al Este con Honduras, al Oeste con Guatemala y al Sur con el Océano Pacífico. Al Este, tiene frontera marítima con Nicaragua, en el Golfo de Fonseca, donde posee nueve islas. Se caracteriza por tener una extensión territorial de 21,040 km^2. Actualmente, El Salvador cuenta con un área de 3,030 km^2 destinadas a la producción de maíz, lo que equivale al 14.4% del territorio nacional (Ministerio de Agricultura Gandería [MAG], 2017). De acuerdo al Anuario de Estadísticas Agropecuarias de El Salvador, en el 2017 publicado por el MAG el área cultivada de maíz incrementó 7.27% respecto del 2016 pasando de 2,818 km^2 a 3,032 km^2 (Figura 1).

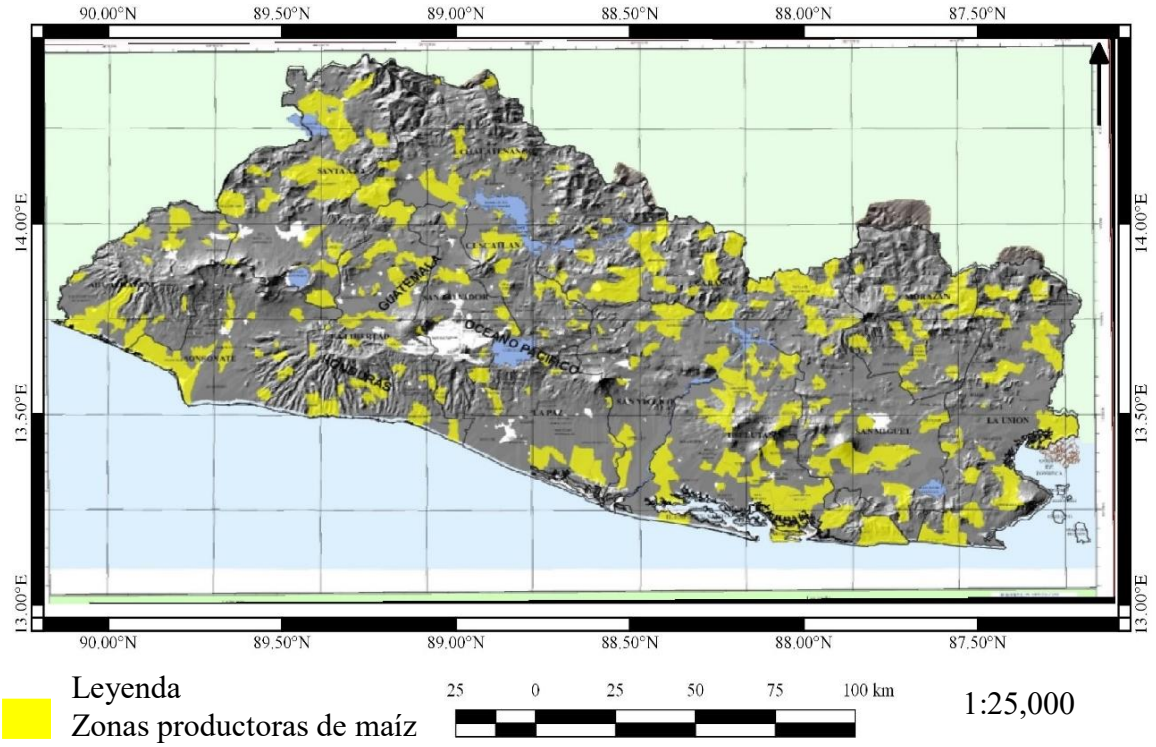


Figura 1. Mapa de zonas productoras de maíz.
Fuente: Dirección General de Estadísticas Agropecuarias de El Salvador (DGEA, 2017).

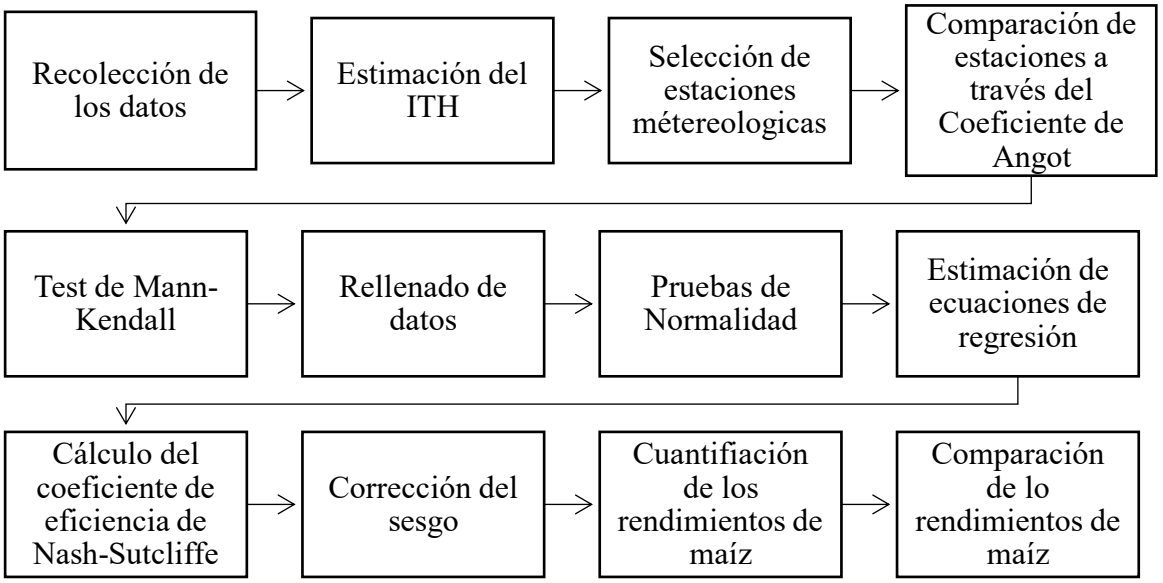


Figura 2. Diagrama de flujo de metodología utilizado para la predicción de rendimientos de maíz a futuro bajo el escenario de RCP 8.5.

Obtención de los datos.

Datos meteorológicos. Se solicitaron los datos promedios mensuales históricos (1978-2017) de precipitación, temperatura y humedad relativa al MARN de El Salvador. De los cuales se obtuvieron de 25 estaciones meteorológicas del país, cuya localización puede observarse en la Figura 3.

Una variable climática relacionada con la producción es el estrés calórico. Esta es la sensación de malestar que se experimenta al permanecer en un ambiente que exige un esfuerzo desmesurado a los organismos para que estos puedan adaptar su temperatura interna, mientras se efectúa el intercambio de agua (West et al., 2003). A partir de los datos de humedad y temperatura de las estaciones meteorológicas siguiendo la metodología de Thom (2010), se calculó el Índice de Temperatura-Humedad mediante la ecuación 1:

$$ITH = (1{,}8 \times T + 32) - [(0{,}55 - 0{,}0055 \times HR) \times (1{,}8 \times T - 26)] \quad [1]$$

Donde:
T = Temperatura promedio (°C).
HR = Humedad Relativa (%).

Se decidió incluir el efecto de ENOS en el estudio, porque es el fenómeno de mayor variabilidad climática en El Salvador. Se utilizaron los datos del Índice Oceánico del Niño 3.4 (INO) de un estudio realizado por Rayner et al. (2003) en donde se estudia el calentamiento del océano en el Pacífico.

Rendimientos de maíz. Se solicitaron los datos de rendimientos de maíz al MAG de El Salvador. De éstos se obtuvieron los datos promedio mensuales históricos (1998-2017) a nivel departamental de las variedades de maíz cultivadas (mejorada y nacional) y también los datos promedio mensuales históricos (1987-2017) a nivel nacional por época de siembra (primera, postrera y apante).

Análisis estadístico de los datos.

Previo al análisis se siguió la metodología de Tinoco-Rueda, Gómez-Díaz y Monterroso-Rivas, (2011) para evaluar la calidad de los datos. La cual consiste en eliminar cualquier estación meteorológica que tenga menos del 50% de los datos reportados o menos de 10 años meteorológicos. Para la estimación de los datos faltantes, se realizó un gráfico de continuidad de datos de las estaciones meteorológicas. Aquellas que tenían un 4% o menor de datos faltantes fueron seleccionadas para el análisis.

Se ha utilizado los siguientes criterios para seleccionar las estaciones que serían incluidas en el estudio: a) las estaciones que no cuenten con al menos el 50% de los datos o tengan menos de 10 años de datos no son relevantes para estudios climatológicos (Tinoco, Gómez y Monterroso, 2011); b) se excluyeron del estudio las estaciones que tuvieron ocho meses o más de datos faltantes (mayor al 4% de los datos faltantes); y c) Tendencia de los datos, de las 25 estaciones meteorológicas disponibles; la única en no cumplir los requisitos para el análisis fue la estación de Santa Tecla SM. Cabe resaltar que la estación de Perquín cuenta son información desde 1993, a diferencia de las otras que tienen los datos a partir de 1987, por lo que se decidió omitirla (Figura 3).

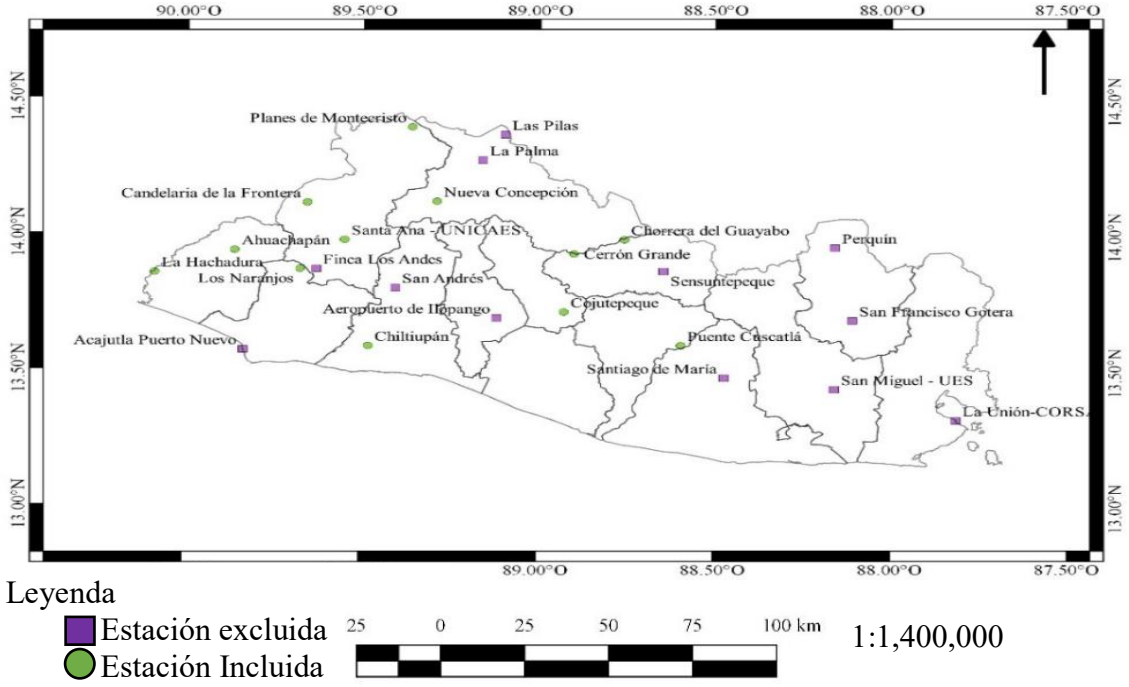


Figura 3. Mapa de estaciones meteorológicas convencionales de El Salvador.
Fuente: Adaptado de MARN en 2018.

El análisis del régimen de lluvia se realizó por medio del utilizando el coeficiente de Angot (Angot, 1987). Puesto que el análisis de agua caída es difícil de comparar, más cuando la suma anual de la precipitación difiere poco entre las estaciones meteorológicas. Para esto es necesario utilizar la noción de "coeficiente pluviométrico". Esto consiste en dividir la lluvia media observada en un mes dado entre el promedio anual si estuviese igualmente repartida a lo largo del año, de lo cual se obtiene el valor relativo de ese mes (Ecuación 2).

$$\text{Coeficiente relativo de Angot} = (PPm / PPt) \times 100\% \quad [2]$$

Donde:
PPm media = Precipitación promedio mensual del mes m (mm)
PPt anual = Precipitación promedio anual del año t (mm)

El porcentaje obtenido de la ecuación anterior para cada una de las estaciones, se utiliza mediante el remplazo en una estación ideal, es decir, con una precipitación de 1000 mm anuales, para adaptar las estaciones a la misma precipitación (Ecuación 3). El fin es evaluar la distribución de las lluvias y con esto poder clasificarlas según su variación a lo largo del año.

$$\text{Coeficiente de Angot} = (\text{Coeficiente relativo de Angot} \times 1000mm / PPn\ ideal) \quad [3]$$

Donde:
PPn ideal = Precipitación promedio mensual ideal del mes n (mm)

Se realizó un test de Mann Kendall, el cual tiene como objetivo detectar una tendencia al incremento o al decrecimiento en series de datos temporales. De acuerdo al MARN, se espera que la temperatura haya aumentado y la precipitación disminuido desde hace 30 años.

Luego, para rellenar los datos mensuales faltantes de las estaciones meteorológicas se realizó una estimación utilizando regresiones lineales entre las distintas estaciones con datos faltantes y alguna otra que cumpliera con los siguientes criterios: a) la estación más próxima y b) la similitud en la elevación. El coeficiente de Pearson se utilizó como medida de desempeño, siendo 0.8 el mínimo valor aceptado en cada relación. En el Cuadro 1 resume las estaciones consideradas y la ecuación utilizada

Cuadro 1. Ecuaciones de rellenado de datos de las estaciones meteorológicas de El Salvador.

Estación X	Estación Y	Parámetro	Porcentaje de datos rellenados (%)	Ecuación de regresión lineal
Nueva Concepción	Chorrera del guayabo	Temperatura media	0.54	Y = 0.96X + 1.56
Puente Cuscatlán	La Hachadura	Precipitación	0.27	Y = 0.98X + 6.59
Nueva Concepción	Chorrera del guayabo	Precipitación	0.54	Y = 0.98X + 27.65
Chorrera del Guayabo	Cerrón Grande	Temperatura media	0.27	Y = 0.86X + 2.74
Chorrera del Guayabo	Cerrón Grande	Humedad Relativa	0.54	Y = 0.61X + 23.96
Chorrera del Guayabo	Cerrón Grande	Precipitación	1.08	Y = 0.86X + 12.94
Nueva Concepción	La Hachadura	Temperatura media	0.81	Y = 0.56X + 12.37
Nueva Concepción	La Hachadura	Humedad Relativa	0.81	Y = 0.64X + 30.31
Candelaria de la Frontera	Santa Ana-UNICAES	Temperatura media	1.08	Y = 0.62X + 9.09
Planes de Montecristo	Cojutepeque	Temperatura media	0.54	Y = 0.91X + 3.63
Cojutepeque	Los Naranjos	Temperatura media	0.27	Y = 0.94X - 5.33
Los Naranjos	Cojutepeque	Humedad Relativa	0.81	Y = 1.03X - 8.68
Los Naranjos	Planes de Montecristo	Humedad Relativa	0.27	Y = 0.98X - 2.95

Estación X: Estación que se utilizó para rellenar los datos faltantes.
Estación Y: Estación con los datos faltantes.

Seguidamente, se realizó una prueba de Shapiro-Wilk utilizando un 95% de confiabilidad para determinar si los datos seguían o no, una distribución normal. A partir de este resultado del test, se determinó el uso de estadística paramétrica o no paramétrica. Seguidamente, se realizó un análisis estadístico de correlación para las variables de temperatura y humedad, y otro para muestras independientes, tanto para la variedad de maíz como época de siembra.

Se realizó un "t-test" para verificar si las medias de la simulación eran similares a las observadas para los tipos de variedad de maíz y una prueba de Fisher para determinar si la variación simulada es igual a la observada. Se realizó un Análisis de Varianza (ANDEVA) para las distintas épocas de siembra de maíz para comparar su media y luego una prueba de

contraste para determinar cuál fue la época más productiva. Luego, se realizó el mismo análisis de comparación de medias y variación de los datos observados y simulados a las épocas de siembra.

Luego, se realizaron los modelos de regresión múltiple. Para esto se utilizaron las variables de humedad relativa, temperatura promedio, el efecto de El Niño, el ITH y las interacciones entre las mismos. Para reducir la variabilidad entre estaciones se dividió el análisis en dos partes: la primera, se centró en el análisis por la variedad utilizada (híbrida o mejorada y nacional o criolla), y la segunda, por la época de siembra (primera, postrera y apante).

Evaluación de modelos de regresión de los rendimientos de maíz.

Para evaluar el desempeño del modelo de regresión posible utilizando los datos de las series de las estaciones se escogió la regresión con el mayor coeficiente determinación de Pearson (R^2) (Ecuación 4) y el coeficiente de eficiencia del modelo de Nash-Sutcliffe (Ecuación 5). Los cuales se estiman de la siguiente manera:

$$R^2 = \frac{\sum_{n=1}^{n} (\tilde{Y}i - \bar{Y}i)^2}{\sum_{n=1}^{n} (Yi - \bar{Y})^2} \quad [4]$$

Donde:
R^2 = Coeficiente de determinación
$\tilde{Y}i$ = Rendimiento modelado
Yi = Rendimiento observado
$\bar{Y}$ = Rendimiento promedio observado

$$E = 1 - \frac{\sum_{t=1}^{T} (Y_m^t - Y_o^t)^2}{\sum_{t=1}^{T} (Y_o^t - \bar{Y}_o)^2} \quad [5]$$

Donde:
E = Eficiencia del modelo
Y^t_m = Rendimiento modelado
Y^t_o = Rendimiento observado en el tiempo t
$\bar{Y}_o$ = Rendimiento promedio observado

Habiendo obtenido la mejor ecuación de regresión para cada una de las regiones, se utilizaron los datos de precipitación, temperatura y el INO obtenidos de los modelos climáticos basados en Hidalgo y Alfaro, en el 2015. Los cuales evaluaron 107 Modelos de Circulación General en su capacidad de simulación de las variables mencionadas anteriormente y los ordenaron para determinar los mejores modelos (Cuadro 2). Los datos de humedad relativa se obtuvieron a partir modelo hidrológico de Capacidad de Infiltración

Variable (VIC, por sus siglas en inglés) los cuales simulan los flujos de energía y humedad entre la superficie de la tierra y la atmósfera generado a través del tiempo atmosférico (Metha y Markert, 2018).

Para el presente estudio se evaluaron los posibles rendimientos de maíz producto de 14 GMC bajo el escenario de RCP 8.5 (Cuadro 2). Se decidió evaluar este escenario para demostrar del impacto del cambio climático en el rendimiento de maíz, de continuar el modelo de producción actual y no tomar ninguna medida. Sin embargo, por su resolución tan gruesa los modelos de GMC y VIC no reproducen de manera precisa las variaciones climáticas escalas locales, por lo que necesitan un cambio de escala.

Cuadro 2. Modelos de Circulación General (GMC) utilizados en el estudio.

No.	Modelo	Grupo o Centro de Modelación	Ranking
1	Ccsm4_r1i1p1	CCMA	18
2	Ccsm4_r2i1p1	CCMA	20
3	Ccsm4_r3i1p1	CCMA	13
4	Cesm1_cam5_r1i1p1	CMCC	1
5	Cesm1_cam5_r2i1p1	CMMC	7
6	Cesm1_cam5_r3i1p1	CMCC	2
7	Cmcc_cms_r1i1p1	CMCC	9
8	Ec_earth_r2i1p1	EC-EARTH consortium	13
9	Giss_e2_r_r1i1p1	GFDL	39
10	Miroc5_r1i1p1	MIROC	29
11	Miroc5_r3i1p1	MIROC	30
12	Mpi_esm_lr_r1i1p1	MPI-M	8
13	Mpi_esm_lr_r2i1p1	MPI-M	21
14	Mpi_esm_lr_r3i1p1	MPI-M	22

Fuente: Hidalgo y Alfaro (2015).

Luego del cambio de escala, a los datos del modelo del Cuadro 2 se requirió un post-procedimiento de corrección de sesgos para hacerlos compatibles con los históricos obtenidos del MARN. A través del método de "Bias Correction" entre esto se escogió la metodología de escalamiento linear (Linear Scaling). Este método propone afectar la serie de datos de los modelos por un factor que se estima de la siguiente manera (Ecuación 6 y 7):

$$kPp = Pp_{mod} \times (\mu Pp_{mod} / \mu Pp_{mod}) \quad [6]$$

Donde:
kPp = Factor de corrección de precipitación mensual
μPp_{mod} = Promedio de precipitación modelada mensual
μPp_{obs} = Promedio de precipitación histórica mensual

$$kT = T_{mod} + \mu T_{obs} - \mu T_{mod} \quad [7]$$

Donde:
kT = Factor de corrección de temperatura media mensual
μT_{mod} = Promedio de temperatura media modelada mensual
μT_{obs} = Promedio de temperatura media histórica mensual

Para la corrección de la humedad relativa se utilizó la misma metodología que la precipitación (Ecuación 6). Mientras que, para el INO, la corrección se realizó de la misma manera que la temperatura media (Ecuación 7). Finalmente, para estima el impacto del cambio climático en los rendimientos del maíz se compararon los rendimientos futuros e históricos (Ecuación 8):

$$\% \text{ Var} = (\bar{Y}_{mod} / \bar{Y}_{obs}) \times 100\% \quad [8]$$

Donde:
%Var = Porcentaje de variación en el rendimiento promedio
$\bar{Y}_{mod}$ = Rendimiento de maíz promedio modelado
$\bar{Y}_{obs}$ = Rendimiento de maíz promedio histórico

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Selección de estaciones meteorológicas.
Las estaciones de San Miguel-UNICAES y La Unión-CORSAIN, se eliminaron por tener un comportamiento de la temperatura distinto al resto de las estaciones, estas se caracterizan por presentar una disminución en la temperatura promedio, mientras que el resto aumentaba. Esto se puede deber a que se encuentran a menos de 100 msnm (93 y 15 respectivamente) y su cercanía al mar.

La mayor parte de las estaciones meteorológicas de El Salvador siguen el mismo régimen pluvial a lo largo del año hidrológico (Figura 4). La canícula es un fenómeno producto del desplazamiento hacia el Sur de la alta presión que se ubica cerca de las Bermudas en el Océano Atlántico y que provoca que la Zona Intertropical de Convergencia también se mueva hacia el Sur. Este movimiento de la canícula hace que en los meses de julio y agosto la precipitación disminuya en El Salvador. Sin embargo, existen estaciones que no siguen este patrón (Aeropuerto de Ilopango y San Andrés) es decir, la precipitación media aparentemente no se ve afectada por la canícula. Estas estaciones tienen la tendencia a aumentar su precipitación promedio mensual con respecto al mes de mayo y por ello fueron descartadas del estudio.

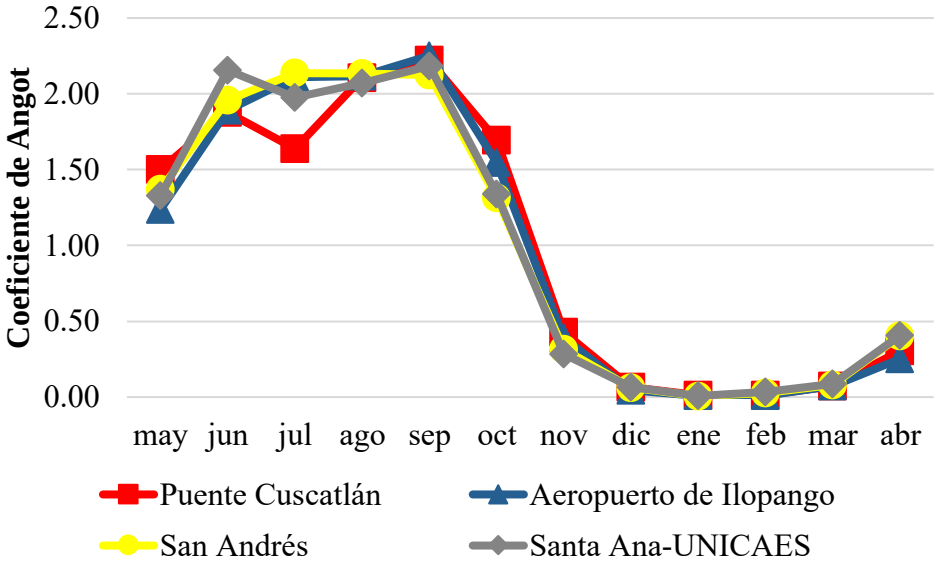


Figura 4. Ejemplo de coeficiente de Angot para la precipitación de las estaciones meteorológicas de El Salvador.

Análisis estadístico de la serie de datos.
La prueba de normalidad de Shapiro-Wilk indicó que las variables de precipitación temperatura, humedad relativa y el INO y sus promedios anuales siguen una distribución normal. Además, las mismas variables a una escala mensual (promedio de cada una de las épocas de siembra), también siguen una distribución normal. Asimismo, los rendimientos de maíz tanto por variedad cultivada como por época de siembra siguen una distribución normal (Cuadro 3). De acuerdo al "t-test" se encontró que sí existe diferencia significativa entre los tipos de variedad ($p<0.000$), por lo que realizó un modelo diferente para cada una de las variedades por cada una de las estaciones meteorológicas seleccionadas. Con respecto a la época de siembra, la prueba ANDEVA determinó que existe diferencia entre los rendimientos por época de siembra ($p<0.000$) (Cuadro 3).

Cuadro 3. Análisis estadísticos preliminares de los datos climatológicos.

Variable		Shapiro-Wilk	T-test	ANDEVA	Prueba de contraste
Precipitación promedio anual		0.06			
Temperatura promedio anual		0.47			
Humedad Relativa promedio anual		0.30			
INO		0.95			
Precipitación mensual	Primera	0.07			
	Postera	0.27			
	Apante	0.06			
Temperatura mensual	Primera	0.54			
	Postera	0.52			
	Apante	0.32			
Humedad Relativa mensual	Primera	0.17			
	Postera	0.41			
	Apante	0.08			
Rendimiento por variedad cultivada	Mejorada	0.26	0.000		
	Nacional	0.08			
Rendimiento por época	Primera	0.40			
	Postera	0.92		0.000	0.000
	Apante	0.29			

Dado la distribución normal de los datos tanto variedad cultivada como a nivel de época de siembra, se optó por el uso de análisis paramétrico, para analizar los datos. El cual consistió en el uso de una regresión lineal múltiple utilizando las variables de temperatura media, precipitación, humedad relativa y El Niño tanto para la variedad cultivada como la época de siembra.

La prueba de contraste determinó que la época de siembra de primera tiene un mayor rendimiento de maíz con respecto a período de postrera y apante ($p<0.000$ y $p=0.043$, respectivamente). Sin embargo, entre la siembra de postrera y apante existe un rendimiento estadísticamente igual ($p=0.213$) (Figura 5). La diferencia en postrera se puede deber al efecto de la canícula que disminuye significativamente la precipitación durante los meses de julio y agosto, su extensión y severidad pueden afectar significativamente las siembras de postrera (USAID, 2015).

De acuerdo al IICA (2017), la falta de agua es la mayor limitante en la producción de maíz si en la fase de establecimiento, la planta carece del recurso, esto se verá traducido en un bajo rendimiento y plantas de menor tamaño. En los últimos años debido a la variabilidad climática, las tendencias indican la extensión de la canícula al iniciar en el mes de junio y no de julio como tradicionalmente se conoce (Tenorio y Ochoa, 2015).

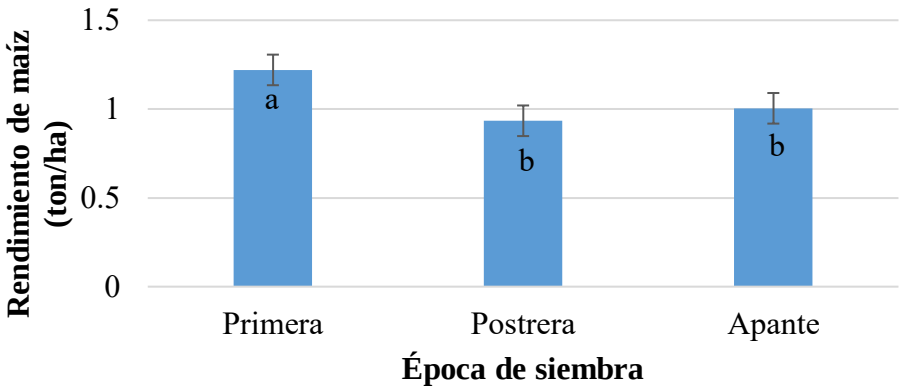


Figura 5. Rendimiento de maíz promedio por época de siembra histórico (1987-2017). Letras diferentes significan diferencia significativa ($p\leq0.05$).

Con respecto a la tendencia del clima, la prueba de Mann-Kendall (Z_{MK}) para series climatológicas, determinó que existe una tendencia en el cambio del clima a nivel promedio nacional en El Salvador (Cuadro 4). De acuerdo al test de tendencia dependiendo si el valor S es positivo (negativo) indica un aumento (disminución) en el parámetro evaluado. La precipitación promedio anual, la temperatura media y la humedad relativa promedio anual histórica a nivel nacional han disminuido los últimos 30 años. Esto demuestra que a nivel anual y nacional sí existe un cambio en el clima de El Salvador

Cuadro 4. Tendencia climática histórica anual en El Salvador.

Parámetro	Período Histórico	Valor S	Z_{MK}	Significancia
Precipitación	1987-2017	-870	14.78	<0.001
Temperatura Media	1987-2017	-786	13.35	<0.001
Humedad Relativa	1987-2017	-576	9.79	<0.001

Se determinó que existe una tendencia en el cambio del clima a nivel promedio nacional a escala mensual en El Salvador (Cuadro 5). La precipitación promedio mensual, la temperatura media y la humedad relativa promedio mensual histórica a nivel nacional han aumentado hacen los últimos 30 años. Esto demuestra que a nivel mensual y nacional sí existe un cambio en el clima de El Salvador. Además, esto indica que el promedio anual, no refleja las condiciones climáticas a nivel mensual para ninguna de las variables climáticas.

Cuadro 5. Tendencia climática histórica mensual en El Salvador.

Parámetro	Período Histórico	Valor S	Z_{MK}	Significancia
Precipitación	1987-2017	50,486	20.98	<0.001
Temperatura Media	1987-2017	53,982	22.43	<0.001
Humedad Relativa	1987-2017	53,419	22.20	<0.001

Predicción de rendimientos de maíz.

Debido a la alta variabilidad climática que existirá a futuro, es difícil determinar las condiciones climáticas. Por esto, es necesario hacer reducir el sesgo en los datos. A través de escalamiento linear es posible reproducir de manera perfecta las condiciones climáticas históricas (Figura 6). Por lo que, este proceso permite reducir el error de las variables climáticas a futuro de los distintos GMC.

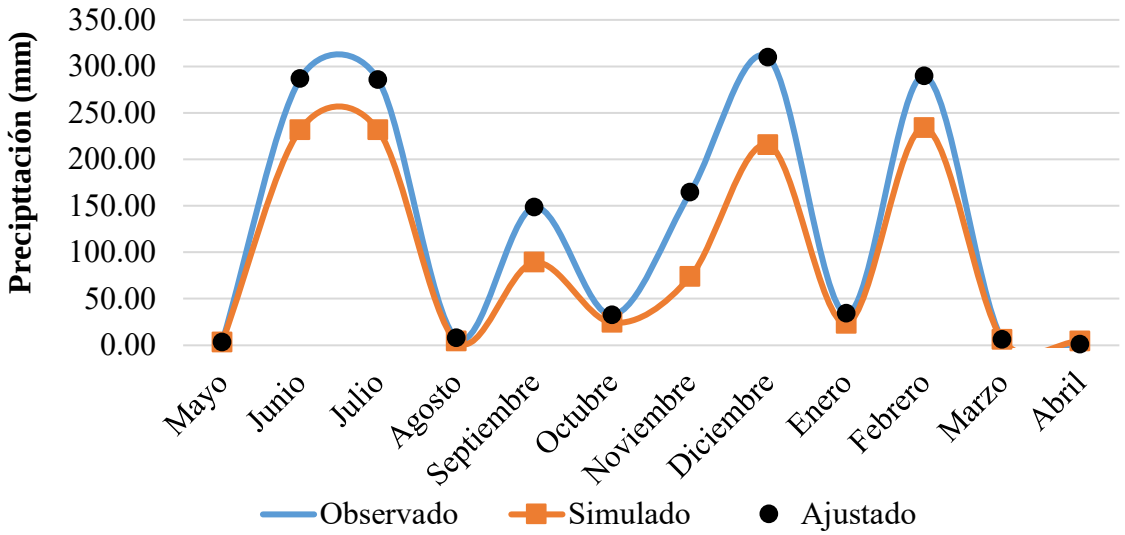


Figura 6. Corrección del sesgo para el parámetro de precipitación de la estación de Ahuachapán.

El rendimiento anual del maíz se simuló en 16 estaciones (ecuaciones): 8 para la variedad mejorada y 8 para la variedad nacional (Cuadros 6 y 7). Se puede observar que las variables que más influyen en la estimación del rendimiento del maíz a nivel anual son la temperatura y la humedad relativa. El índice de temperatura-humedad también está presente en muchas

de las ecuaciones, pero puede ser consecuencia de las otras dos variables principales. Llama la atención la poca correlación que tiene la precipitación anual en la estimación de los rendimientos, evidenciando que el maíz es probablemente más susceptible a los cambios a menor escala temporal de precipitación que a los acumulados de lluvia anual. Esto se puede debe a que, la producción de maíz en los pequeños agricultores no siempre coincide el inicio de la producción con el inicio de las lluvias por cuestiones culturales que puede influir en el efecto de lluvia a nivel promedio de la precipitación.

Las estaciones en donde se obtuvieron los mejores y peores indicadores de desempeño fueron diferentes para cada variedad. Por ejemplo, Ahuachapán tuvo los mejores indicadores para la variedad mejorada, sin embargo, no ocurrió así para la variedad nacional. Lo mismo ocurre con la estación Puente Cuscatlán que obtuvo los peores indicadores de la variedad mejorada, pero no fue el peor en la variedad nacional. Se puede deducir que el rendimiento del maíz no sólo depende de las variables climáticas estudiadas a nivel anual y que su simulación debe realizarse a escalas temporales menores que ayuden a explicar esta variabilidad en el desempeño de los modelos propuestos (FIC, 2018).

Por otro lado, el Cuadro 8, presenta la variedad nacional, demostró ser menos susceptible a variaciones climáticas siendo la estación de Nueva Concepción la que tuvo un mejor ajuste con un R^2 múltiple de 0.743. Sin embargo, Santa Ana-UNICAES demostró ser, otra vez, la estación que respondió en menor medida a las variables climáticas. Cabe resaltar que la estación de UNICAES, no se ve afectada por la parte del clima de manera significativa, en ninguna de las variedades tanto para la mejorada como la nacional.

El bajo desempeño del modelo en la estación UNICAES se puede deber a la localización orográfica de la estación, que se encuentra en la parte alta del país y esta región se caracteriza por ser relativamente más helada con respecto a la temperatura promedio de El Salvador; a esto se añade la pésima condición del suelo en el que se produce, el cual se clasifica como VII (tierras sin valor agrícola). No obstante, existe una contradicción en el efecto de la temperatura en cuanto a las variedades. En la variedad nacional, la temperatura tiene un efecto positivo. Esto quiere decir, que en la estación de Santa Ana-UNICAES existe un potencial de mejora en los rendimientos de maíz.

Según el estudio realizado por Rosenzweig y Hillel en el 2007, establecen que a nivel global promedio el efecto del cambio climático es mínimo. Sin embargo, a escala local existirán mayores impactos como en El Salvador. Además, el estudio de Rosenzweig y Hillel propone que las regiones frías tienen la posibilidad de aumentar sus rendimientos agrícolas al aumentar temperatura. Por esto las partes altas y las regiones sub-tropicales tienen un alto potencial agrícola a futuro. Sin embargo, el IICA en 2012 prevé que si el aumento promedio de la temperatura supera los 3 °C, las zonas que podrían beneficiarse por el aumento de la temperatura se verán perjudicadas, luego de superar los tres grados.

Cuadro 6: Ecuaciones de regresión lineal para la predicción de los rendimientos de maíz de la variedad mejorada

Estación	Departamento	T	H	Pp	IT	IN	INT	MR	NS
Ahuachapán	Ahuachapán	366.96	21.77		-232.59		6544.63	0.803	0.646
Candelaria de la Frontera	Santa Ana		-1.46				143.43	0.533	0.285
Cerrón Grande	Cuscatlán	-18.97			6.72		30.79	0.681	0.464
Cojutepeque	Cuscatlán	-35.07			24.31		-889.71	0.636	0.405
Chiltiupán	La Libertad	585.13[&]				-5.235	-758.50	0.707	0.499
Chorrera del Guayabo	Cuscatlán		-0.01[*]	6.56E-06[*]			63.57	0.626	0.392
Nueva Concepción	Chalatenango	-47.52		-0.014	27.31		-756.13	0.629	0.396
Santa Ana-UNICAES	Santa Ana	4.27					-61.21	0.196	0.103

[&] Requirió una transformación logarítmica base 10

[*] Requirió una transformación cuadrática de los datos

T: temperatura promedio anual

H: humedad relativa media

P: precipitación promedio anual

IN: Índice del niño 3.4

INT: Intercepto

MR: R^2 múltiple

NS: Coeficiente de Nash-Sutcliffe

Cuadro 7. Ecuaciones de regresión lineal para la predicción de los rendimientos de maíz para la variedad nacional.

Estación	Departamento	T	H	Pp	IT	IN	Int	MR	NS
Ahuachapán	Ahuachapán		2.00	-0.01			-102.65	0.660	0.436
Candelaria de la Frontera	Santa Ana	-11.17	-1.82				434.51	0.525	0.276
Cerrón Grande	Cabañas	-6.43					202.39	0.507	0.257
Chiltiupán	La Libertad	10.11					-205.45	0.595	0.354
Los Naranjos	Sonsonate					8.89	37.20	0.439	0.193
Nueva Concepción	Chalatenango		2.51	-0.03			-100.06	0.704	0.497
Puente Cuscatlán	San Vicente	-2933.90	-250.86		1919.14		-50648.80	0.612	0.374
Santa Ana-UNICAES	Santa Ana	10.42					-213.82	0.475	0.225

T: temperatura promedio anual
H: humedad relativa media
P: precipitación promedio anual
IN: Índice del niño 3.4
INT: Intercepto
MR: R^2 múltiple
NS: Coeficiente de Nash-Sutcliffe

Según el IICA, el maíz es una planta que tiene una amplia capacidad de respuesta a los distintos factores del ambiente. En términos de altura el maíz expresa su mayor potencial entre los 0 y 900 msnm. Esto explicaría el ajuste tan bajo para la estación de Los Naranjos en la variedad nacional y la estación de Planes de Montecristo que se encuentran sobre los 1,000 msnm.

Otro factor importante a tomar en cuenta es el suelo. De acuerdo al MAG, El Salvador se divide en siete clases agrológicas, según sus aptitudes de producción. Dentro de éstas solo las primeras tres clases son aptas para la agricultura. De estas solamente tres de las 12 estaciones se encuentran dentro de estas características (Ahuachapán, La Hachadura y Nueva Concepción). Las estaciones que se encuentran en sitios óptimos de producción en términos de suelos tienen la tendencia a tener ajustes menores o a no ser significativas para predecir el rendimiento de maíz

Contrariamente, la variedad mejorada de maíz sufrirá una disminución en los rendimientos de maíz de existir un aumento en la temperatura. La interacción entre la humedad relativa y la temperatura ayudará al rendimiento. Por lo que, mantener una atmosfera húmeda puede compensar el efecto del aumento de la temperatura. Sin embargo, existe una paradoja, ya que, al aumentar la temperatura si la humedad absoluta se mantiene constante, disminuirá la humedad relativa. Esto puede implicar un mayor gasto en el consumo de agua, para mantener las condiciones óptimas para el cultivo.

El rendimiento de la variedad mejorada resultó ser mejor simulado por las variables climáticas consideradas que el rendimiento de la variedad nacional, a excepción de los rendimientos en las estaciones de Chorrera del Guayabo, Nueva concepción y el Puente Cuscatlán, donde ocurrió lo opuesto. A nivel promedio, se podría decir que la variedad nacional, equivalente a la semilla criolla (semilla originaria del país), está mejor adaptada a las condiciones climáticas de la región.

Dos variables importantes, que a nivel de variedad afecta los rendimientos es la temperatura y la humedad relativa (Ordaz, 2010). En su estudio Ordaz evaluó el efecto de la temperatura media, la Población Económicamente Activa (PEA) y la precipitación promedio anual tanto su efecto lineal como cuadrático. Aunque la PEA no es una variable climática, su magnitud puede indicar el nivel de esfuerzo que se dedica al cultivo durante todo el proceso, y por tanto el esfuerzo por mantener un rendimiento óptimo.

En las ecuaciones que relacionaban las variables con el rendimiento, Ordaz incluyó tanto las variables lineales como aquellas transformadas cuadráticamente. Lo cual rompe con el principio de parsimonia, el cual establece: “prioriza las explicaciones más sencillas de entre todas las posibles” (López García y Baniandrés García, 2013, p.1). Por lo que, si bien repetir las variables de las ecuaciones daría un mejor modelo en términos de predicción, agregar la misma variable de forma lineal y cuadrática sería añadir información redundante al modelo, envés de utilizar otras variables que tengan un efecto adicional.

Como se puede observar en los Cuadros 8 y 9, los rendimientos de maíz para la variedad mejorada y nacional no existe diferencia significativa entre el rendimiento promedio observado y el simulado. Además, en términos de variabilidad, la prueba de Fisher indica

que entre la variación entre los rendimientos observados y simulados no existe diferencia significativa. A nivel promedio se puede decir que, los modelos predicen de manera precisa el comportamiento del rendimiento del maíz a nivel de variedad. Por lo que, es posible utilizar estos modelos para predecir el comportamiento y variabilidad del rendimiento del maíz derivado de escenarios climáticos futuros. Asimismo, la variabilidad a futuro que puedan tener los rendimientos de maíz observados, serán estadísticamente iguales a los simulados en este estudio.

Cuadro 8. Evaluación de los rendimientos de maíz promedios observados y modelados para la variedad mejorada.

Estación	$\bar{Y}_{obs}$	$\bar{Y}_{mod}$	σ_{obs}	σ_{mod}	MSE	Fisher	T-Test
Ahuachapán	1.33	1.33	0.30	0.24	53.28	0.58	0.46
Candelaria de la Frontera	1.30	1.30	0.26	0.14	50.52	0.36	0.36
Cerrón Grande	1.32	1.32	0.23	0.15	32.56	1.00	0.50
Chiltiupán	1.54	1.54	0.21	0.15	24.75	1.00	0.50
Chorrera del Guayabo	1.44	1.44	0.31	0.19	66.10	0.58	0.50
Cojutepeque	1.54	1.54	0.30	0.20	66.65	0.42	0.50
Nueva Concepción	1.44	1.44	0.31	0.20	70.24	0.42	0.50
Santa Ana-UNICAES	1.30	1.30	0.26	0.10	56.96	0.17	0.50

$\bar{Y}_{obs}$: Rendimiento promedio observado
$\bar{Y}_{mod}$: Rendimiento promedio simulado
σ_{obs}: Desviación estándar del rendimiento promedio observado
σ_{mod}: Desviación estándar del rendimiento promedio simulado
MSE: Error cuadrático medio

Cuadro 9. Evaluación de los rendimientos de maíz promedios observados y modelados para la variedad nacional.

Estación	$\bar{Y}_{obs}$	$\bar{Y}_{mod}$	σ_{obs}	σ_{mod}	MSE	Fisher	T-Test
Ahuachapán	1.13	1.13	0.29	0.19	37.46	0.68	0.50
Candelaria de la Frontera	1.12	1.12	0.26	0.15	54.72	0.36	0.46
Cerrón Grande	1.07	1.07	0.21	0.13	36.38	0.49	0.50
Chiltiupán	1.15	1.15	0.29	0.17	56.02	0.39	0.50
Los Naranjos	1.16	1.16	0.40	0.24	116.85	0.44	0.50
Nueva Concepción	1.12	1.12	0.30	0.23	50.12	0.79	0.50
Puente Cuscatlán	1.12	1.12	0.30	0.19	67.96	0.57	0.50
Santa Ana-UNICAES	1.12	1.12	0.26	0.13	55.09	0.37	0.50

$\bar{Y}_{obs}$: Rendimiento promedio observado
$\bar{Y}_{mod}$: Rendimiento promedio simulado
σ_{obs}: Desviación estándar del rendimiento promedio observado
σ_{mod}: Desviación estándar del rendimiento promedio simulado
MSE: Error cuadrático medio

Una de las limitantes de los modelos de regresión es que solo predicen los rendimientos a niveles promedio, no refleja los casos individuales de los productores. Los pequeños y medianos agricultores, principalmente lo que se dedican a la agricultura de subsistencia, se verán afectados en mayor medida por el cambio climático, con respecto a grandes productores (Suazo y Rodríguez , 2017).

El efecto de ENSO, si se estima desde la época de siembra, aumenta el rendimiento del maíz. Como se puede observar en los Cuadros 10, 11 y 12. En la época de primera solo la estación de Los Naranjos demostró ser influenciada por ENSO. En la época de postrera cinco de las 12 estaciones demostraron estar influenciadas por este fenómeno. Esto se puede deber a que la ocurrencia ENSO acenturía la canícula (Jiménez Umaña, 2005), mientras que en la época de apante ENSO no demostró tener ningun efecto.

Cuadro 10. Ecuaciones de regresión lineal para la predicción de rendimientos de maíz para la época de primera.

Estación	Departamento	T	H	Pp	IT	IN	INT	MR	NS
Ahuachapán	Ahuachapán		1.05				-44.17	0.786	0.617
Candelaria de la Frontera	Santa Ana	-3.65			6.32		-336.46	0.851	0.742
Cerrón Grande	Cuscatlán	-5.93					196.27	0.520	0.271
Chiltiupán	La Libertad				-3.26		288.44	0.452	0.204
Chorrera del Guayabo	Cuscatlán	-168.90	-13.56		101.63		-2263.00	0.673	0.453
Cojutepeque	Cuscatlán	6.89	2.06				-293.30	0.669	0.448
La Hachadura	Ahuachapán			0.01			27.86	0.461	0.213
Los Naranjos	Santa Ana	-873.42	-25.80	0.01	517.75	4.94	-15101.00	0.712	0.507
Nueva Concepción	Chalatenango	-19.92		-20.80[&]	15.30		-551.58	0.631	0.398
Planes de Montecristo	Chalatenango	-1.74[*]			34.65		-1614.73	0.426	0.181
Puente Cuscatlán	San Vicente			0.02			21.23	0.482	0.232
Santa Ana-UNICAES	Santa Ana		1.32				-63.39	0.669	0.449

[&] Requirió una transformación logarítmica base 10

[*] Requirió una transformación cuadrática

T: temperatura promedio anual

H: humedad relativa media

P: precipitación promedio anual

IN: Índice del niño 3.4

INT: Intercepto

MR: R^2 múltiple

NS: Coeficiente de Nash-Sutcliffe

Cuadro 11. Ecuaciones de regresión lineal para la predicción de rendimientos de maíz para la época de postrera.

Estación	Departamento	T	H	Pp	IT	IN	INT	MR	NS
Ahuachapán	Ahuachapán	9.05	0.87				-252.00	0.790	0.625
Candelaria de la Frontera	Santa Ana				1.24	-0.17	-57.71	1.000	0.999
Cerrón Grande	Cuscatlán	-7.69					226.13	0.521	0.271
Chiltiupán	La Libertad	10.14				-3.15	-204.94	0.644	0.414
Chorrera del Guayabo	Cuscatlán	-4.73	-1.24	0.02		2.95	232.43	0.734	0.540
Cojutepeque	Cuscatlán	14.62	2.53				-518.60	0.688	0.474
La Hachadura	Ahuachapán		1.20			3.73	-70.66	0.613	0.375
Los Naranjos	Santa Ana	-36.26			26.38		-1009.90	0.483	0.233
Nueva Concepción	Sonsonate		1.29				-75.36	0.447	0.200
Planes de Montecristo	Chalatenango				768.02[&]		-1343.00	0.347	0.120
Puente Cuscatlán	San Vicente	24.25			-10.82		219.35	0.639	0.408
Santa Ana-UNICAES	Santa Ana		1.67			4.13	-105.00	0.698	0.487

[&] Requirió una transformación logarítmica base 10

T: temperatura promedio anual

H: humedad relativa media

P: precipitación promedio anual

IN: Índice del niño 3.4

INT: Intercepto

MR: R^2 múltiple

NS: Coeficiente de Nash-Sutcliffe

Cuadro 12. Ecuaciones de regresión lineal para la predicción de rendimiento de maíz para la época de apante.

Estación	Departamento	T	H	Pp	IT	IN	INT	MR	NS
Ahuachapán	Ahuachapán		0.41		3.17			0.731	0.535
Cerrón Grande	Cuscatlán	-134.70	-10.16		88.11		-2402.00	0.905	0.819
Chiltiupán	La Libertad				4.09		-260.69	0.542	0.294
Chorrera del Guayabo	Cuscatlán	-3.46	-0.59				163.08	0.576	0.331
La Hachadura	Ahuachapán	370.81	31.05		-249.90		7051.80	0.636	0.404
Los Naranjos	Santa Ana	-36.57			20.96		-648.24	0.372	0.138
Puente Cuscatlán	San Vicente				4.09		-282.90	0.516	0.267
Santa Ana-UNICAES	Santa Ana	-15.67			9.96		-312.92	0.497	0.247

T: temperatura promedio anual
H: humedad relativa media
P: precipitación promedio anual
IN: Índice del niño 3.4
INT: Intercepto
MR: R^2 múltiple
NS: Coeficiente de Nash-Sutcliffe

En la Figura 7 se puede observar la variación de las condiciones climáticas a futuro en el período de 2020-2050 bajo el escenario de RCP 8.5 de la estación de Ahuachapán. A futuro, según el GMC utilizado existirá mucha variabilidad en la de temperatura, humedad relativa, precipitación y ENOS. Dependiendo del modelo evaluado esto puede tener mayor o menor variación en cada una de las variables climáticas para cada una de las 12 estaciones meteorológicas.

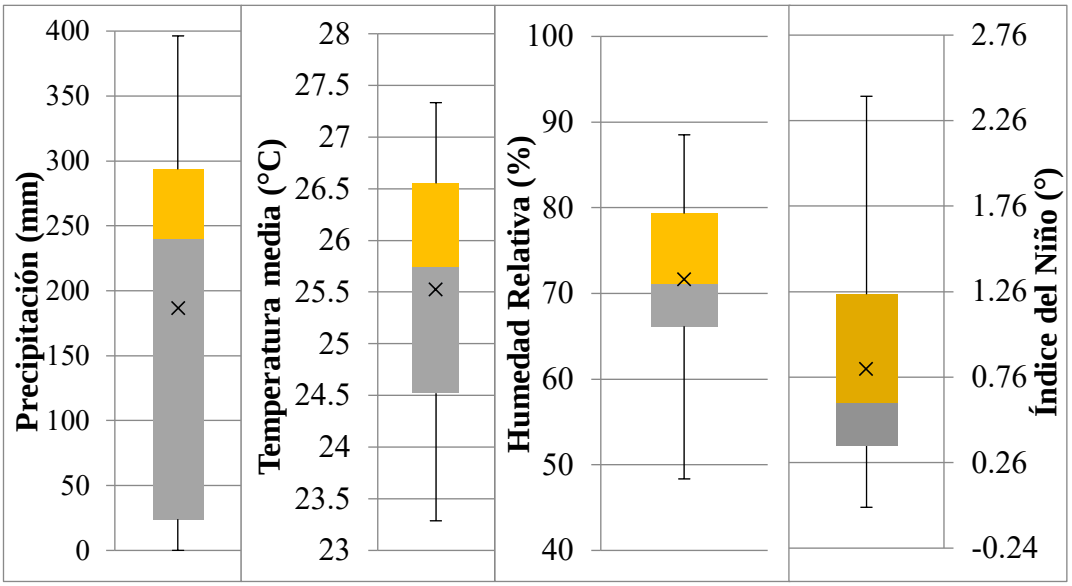


Figura 7. Variabilidad climática del período 2020-2050 en la estación de Ahuachapán.

A nivel de época de siembra, de manera general las variables climáticas consideradas de las estaciones simularon mejor el rendimiento del maíz que a nivel de variedad anual. En la época de primera es donde un mayor número de modelos (estaciones) lograron un mejor desempeño. De éstas relaciones las estaciones de Ahuachapán, Candelaria de la Frontera, Los Naranjos y Santa Ana-UNICAES, superaron el R^2 de 0.7, con la segunda siendo la mejor con un ajuste de 0.851. Mientras que la estación Chiltiupán fue la tuvo el peor desempeño.

En cuanto a la época de postrera, los modelos del rendimiento por estación tuvieron un menor desempeño. Solo tres estaciones lograron superar el R^2 múltiple de 0.7. Dentro de estas estaciones, algo que cabe destacar es la estación de Candelaria de la Frontera, cuyo ajuste fue perfecto, es decir, 100% del rendimiento de maíz es explicado por las variables del Índice de temperatura-humedad y al Índice del Niño 3.4. Mientras que la peor estación fue Planes de Montecristo teniendo un R^2 múltiple de 0.347.

Finalmente, la época de apante fue la que demostró un menor ajuste con respecto al resto de épocas de siembra. De las 12 estaciones, solo siete modelos pueden representar el rendimiento del maíz basándose en las variables climáticas consideradas. De estos modelos, solo dos estaciones meteorológicas tuvieron un R^2 múltiple superior a 0.7: Ahuachapán y Cerrón Grande. El diferencial de las estaciones que no respondieron al modelo se puede

deber a que, en la época de apante, solo es posible la producción de maíz en suelos que retengan suficiente agua después de la época de postrera, sin tomar en cuenta las tierras bajo riego permanente (IICA, 2017).

A nivel promedio en El Salvador, el rendimiento de maíz no depende de la precipitación a nivel anual. Sin embargo, a partir de la época se siembra los rendimientos comienzan responder a los efectos de la precipitación. Por lo que, datos a una escala diaria podría dar mejores resultados. No obstante, un estudio realizado por Hernández Villegas, Martínez Flores y Rodríguez Hernández en 2017, encontraron que en el 2014 la pérdida por déficit de lluvia en El Salvador fue de 3,620,941 quintales de maíz en un área de 89,870 manzanas. El equivalente a más de USD 70 millones, lo que afectó fuertemente a las familias salvadoreñas. Esto demuestra que a nivel particular la precipitación si tiene un efecto en el rendimiento de maíz. La ausencia de la misma se traduce en la disminución de la producción. Además, según datos del MAG y DGEA en el 2015, solo por la sequía la pérdida de maíz fue de 4,702,540 quintales de maíz.

Como, se puede observar en los cuadros 13,14 y 15 los rendimientos de maíz por época de siembra, no existe diferencia significativa entre el rendimiento promedio observado y el simulado. Además, en términos de variabilidad la prueba de Fisher indica que a nivel promedio la variación entre los rendimientos observados y los simulados no existe diferencia significativa. Se puede decir que, los modelos predicen de manera precisa el comportamiento promedio de rendimiento de maíz a nivel de época de siembra.

Cuadro 13. Evaluación de los rendimientos de maíz promedios observados y modelados para la época de primera.

Estación	$\bar{Y}_{obs}$	$\bar{Y}_{mod}$	σ_{obs}	σ_{mod}	MSE	Fisher	T-test
Ahuachapán	1.22	1.22	0.28	0.22	30.91	1.00	0.49
Candelaria de la Frontera	1.22	1.22	0.28	0.24	23.17	1.00	0.50
Cerrón Grande	1.22	1.22	0.28	0.15	58.95	0.56	0.50
Chiltiupán	1.22	1.22	0.28	0.13	64.33	0.36	0.50
Chorrera del Guayabo	1.22	1.22	0.28	0.19	47.48	0.77	0.50
Cojutepeque	1.22	1.22	0.28	0.19	46.36	5.91	0.50
La Hachadura	1.22	1.22	0.28	0.13	63.64	0.36	0.50
Los Naranjos	1.22	1.22	0.28	0.20	46.80	0.58	0.50
Nueva Concepción	1.22	1.22	0.28	0.18	52.59	0.78	0.50
Planes de Montecristo	1.22	1.22	0.28	0.12	68.75	0.36	0.50
Puente Cuscatlán	1.22	1.22	0.28	0.14	62.08	0.24	0.50
Santa Ana-UNICAES	1.22	1.22	0.28	0.21	41.74	6.49	0.50

$\bar{Y}_{obs}$: Rendimiento promedio observado
$\bar{Y}_{mod}$: Rendimiento promedio simulado
σ_{obs}: Desviación estándar del rendimiento promedio observado
σ_{mod}: Desviación estándar del rendimiento promedio simulado
MSE: Error cuadrático medio

Cuadro 14. Evaluación de los rendimientos de maíz promedios observados y modelados para la época de postrera.

Estación	$\bar{Y}_{obs}$	$\bar{Y}_{mod}$	σ_{obs}	σ_{mod}	MSE	Fisher	T-test
Ahuachapán	0.93	0.93	0.29	0.23	34.09	0.78	0.5
Candelaria de la Frontera	0.93	0.93	0.29	0.23	0.01	0.77	0.5
Cerrón Grande	0.93	0.93	0.29	0.15	63.71	0.56	0.5
Chiltiupán	0.93	0.93	0.29	0.19	53.16	0.57	0.5
Chorrera del Guayabo	0.93	0.93	0.29	0.21	45.38	0.75	0.5
Cojutepeque	0.93	0.93	0.29	0.20	47.77	0.58	0.5
La Hachadura	0.93	0.93	0.29	0.18	56.71	0.59	0.5
Los Naranjos	0.93	0.93	0.29	0.14	69.63	0.49	0.5
Nueva Concepción	0.93	0.93	0.29	0.13	69.94	0.24	0.5
Planes de Montecristo	0.93	0.93	0.29	0.10	76.91	0.20	0.5
Puente Cuscatlán	0.93	0.93	0.29	0.19	53.77	0.57	0.5
Santa Ana-UNICAES	0.93	0.93	0.29	0.20	46.58	0.58	0.5

$\bar{Y}_{obs:}$ Rendimiento promedio observado
$\bar{Y}_{mod:}$ Rendimiento promedio simulado
$\sigma_{obs:}$ Desviación estándar del rendimiento promedio observado
$\sigma_{mod:}$ Desviación estándar del rendimiento promedio simulado
MSE: Error cuadrático medio

Cuadro 15. Evaluación de los rendimientos de maíz promedios observados y modelados para la época de apante.

Estación	$\bar{Y}_{obs}$	$\bar{Y}_{mod}$	σ_{obs}	σ_{mod}	MSE	Fisher	T-test
Ahuachapán	1.00	1.00	0.27	0.17	25.34	0.76	0.5
Cerrón Grande	1.00	1.00	0.27	0.20	10.24	0.82	0.5
Chiltiupán	1.00	1.00	0.27	0.12	37.03	0.74	0.5
Chorrera del Guayabo	1.00	1.00	0.27	0.21	36.40	0.52	0.5
La Hachadura	1.00	1.00	0.27	0.14	33.77	0.71	0.5
Los Naranjos	1.00	1.00	0.27	0.08	46.95	0.49	0.5
Puente Cuscatlán	1.00	1.00	0.27	0.12	38.47	0.74	0.5
Santa Ana-UNICAES	1.00	1.00	0.27	0.11	41.04	0.74	0.5

$\bar{Y}_{obs:}$ Rendimiento Promedio observado
$\bar{Y}_{mod:}$ Rendimiento promedio simulado
$\sigma_{obs:}$ Desviación estándar del rendimiento promedio observado
$\sigma_{mod:}$ Desviación estándar del rendimiento promedio simulado
MSE: Error cuadrático medio

Cuantificación de rendimientos de maíz.

Los 14 GCM utilizados en las ecuaciones previamente derivadas (Cuadros 6, 7, 10, 11 y 12) usando datos históricos tanto para las variedades de maíz como las épocas de siembra. Se determinaron los rendimientos de maíz a futuro por la parte de variedad en periodos de 20 años (Cuadro 16) y para la época de siembra cada 30 años (Cuadro 17).

Cuadro 16. Rendimiento promedio de maíz por variedad cultivada de los modelos evaluados de 2020-2040 bajo el escenario de RCP 8.5

Estación	Mejorada		Nacional	
	Rendimiento (Ton/ha)	Variación (%)	Rendimiento (Ton/ha)	Variación (%)
Ahuachapán	1.49	12.29	1.21	7.50
Candelaria	1.33	2.24	0.79	-29.31
Cerrón grande	0.98	-25.91	0.80	-25.28
Chiltiupán	1.77	14.58	1.62	29.15
Chorrera del guayabo	0.98	-32.18	NR	NR
Cojutepeque	1.69	10.04	NR	NR
Los Naranjos	NR	NR	1.30	12.49
Nueva concepción	1.18	-18.31	1.62	43.94
Puente Cuscatlán	NR	NR	1.19	6.14
Santa Ana-UNICAES	1.50	15.07	1.60	42.47

NR: No se encontró relación entre las variables climáticas y los rendimientos de maíz.

De acuerdo al estudio realizado por Ordaz et al. (2010), el rendimiento promedio a nivel nacional en El Salvador tuvo una disminución del 47%, pasando de 1.9 ton/ha a 1.0 ton/ha a finales del año 2050. Mientras que bajo otro escenario el rendimiento promedio nacional oscilaría alrededor de 1.40 ton/ha, una disminución del 18% con respecto al promedio histórico. Cabe destacar que estos rendimientos fueron calculados a partir de escenarios de cambio climático del cuarto informe del IPCC. Los cuales han sido reemplazados por los escenarios de RCP en el quinto informe del IPCC.

Para la variedad mejorada la mayoría de las estaciones meteorológicas presentaran un aumento. Estas se caracterizan por estar ubicadas en las zona central y occidente del país. Además, estas tienen temperatura media alrededor de los 20 °C por lo que, el aumento de la temperatura influirá de manera positiva los rendimientos de maíz. Mientras que, las estaciones que presentan una disminución se encuentran la zona norte del país. Sin embargo, estas se encuentran en los valles entre las montañas del norte y centro de El Salvador donde la temperatura media es mayor y ronda los 25 °C. Por lo que, el aumento de la temperatura disminuirá su rendimiento (Figura 8).

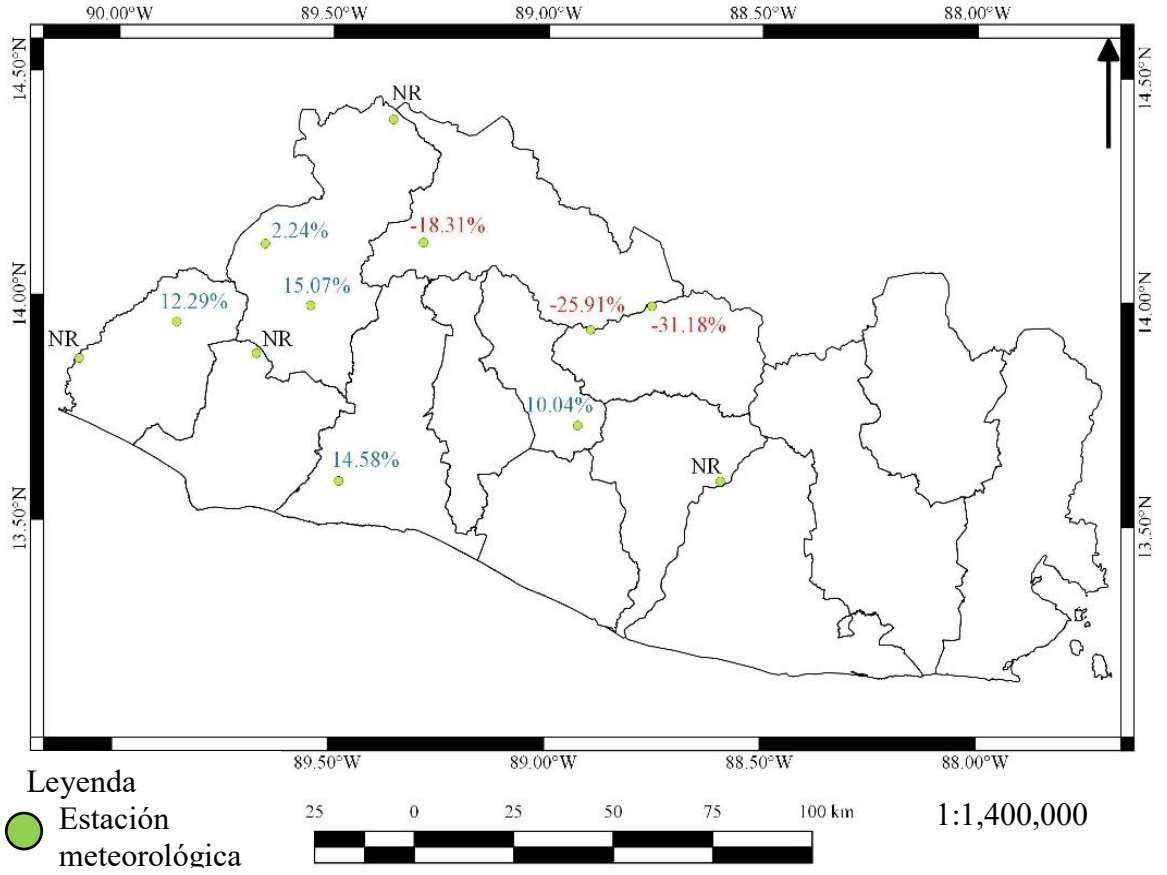


Figura 8. Distribución geográfica de los rendimientos de maíz promedios de la variedad mejorada de 2020-2040 bajo el escenario de RCP 8.5.

En comparación a los rendimientos de Ordaz, la mayor parte de los modelos en este estudio demuestran una disminución del rendimiento entre el 10 al 30%. Los modelos actuales indican escenarios similares al B2. No obstante, no son tan severos como el escenario A2 el cual, demuestra una disminución del 50% del rendimiento al año 2050.

De acuerdo a Etizinger et al. (2013), al igual que Ordaz para la modelación utilizaron 19 GCM, del cuarto informe del IPCC utilizando el escenario A2. Estos evaluaron el promedio por cada uno de los departamentos de El Salvador utilizando únicamente las semillas de maíz mejoradas añadiendo dos escenarios adicionales a los climatológicos: el primero donde se da una alta degradación de suelos y en el segundo donde los suelos se conservan de una buena manera. Para el primer escenario de los suelos, los rendimientos de maíz oscilan entre -11 y 74% para el año 2050. Teniendo como promedio nacional una disminución del 33%. Por otro lado, el escenario donde se conserva el suelo de buena manera los rendimientos de maíz oscilan entre -8.9 y 6%.

Mientras que, para la variedad nacional esta tiene un comportamiento distinto solo dos estaciones presentan una disminución en el rendimiento promedio maíz a futuro. Una de estas es la estación de Cerrón Grande, la cual para ambas variedades presenta una

disminución. Por lo que, la región de Cuscatlán donde se ubica está estación será muy vulnerable al cambio climático de mantener las variedades de maíz actuales. Mientras que, la estación de Candelaria de la Frontera solo la variedad nacional tendrá una disminución (Figura 9). Esto se puede deber, a que la semilla ya está adaptada a las condiciones actuales y la alteración de las mismas tendrá un efecto negativo en el rendimiento promedio de maíz.

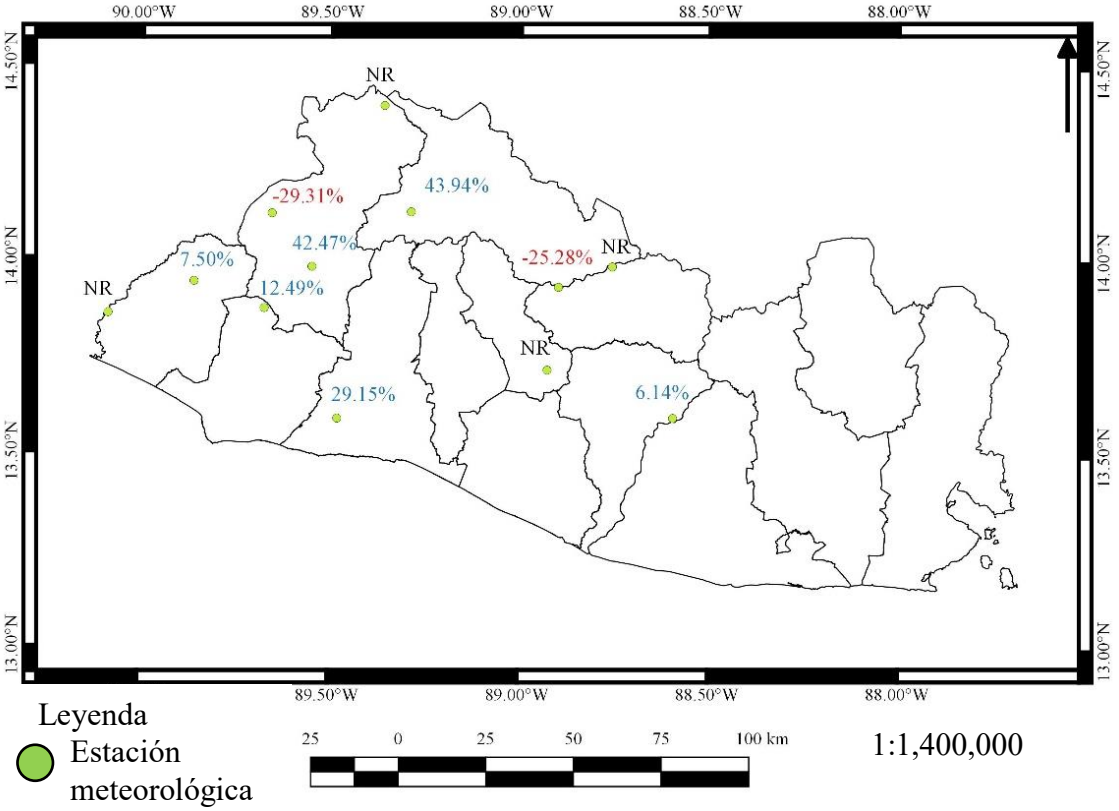


Figura 9. Distribución geográfica de los rendimientos de maíz promedios de la variedad nacional de 2020-2040 bajo el escenario de RCP 8.5.

Etizinger et al. (2013), plantearon un escenario distinto a los resultados encontrados por Ordaz et al. (2010), ya que, estos últimos solo consideraron la disminución de los rendimientos de maíz a nivel de país. Mientras que, la separación de las distintas regiones demuestra que existe un potencial de incremento en los rendimientos de maíz en algunas de ellas. Los departamentos que tienen temperaturas históricas más bajas presentan la menor disminución en los rendimientos de maíz e inclusive el aumento en los rendimientos de maíz. Los departamentos de Ahuachapán y Sonsonate tienen el potencial de incremento en sus rendimientos debido al incremento de la temperatura. Esto coincide con los rendimientos modelados anteriormente, puesto que la estación de Ahuachapán presenta un incremento del 12% para la variedad mejorada y un 7% para la variedad nacional.

Esto concuerda con lo propuesto por Rosenzweig y Hillel en el 2007. Ellos establecieron que el cambio climático tendrá un impacto distinto en cada una de las regiones del mundo. Las regiones con menores temperaturas experiementarán un alza en los rendimientos de la

producción de agrícola. Además, estos establecen que el cambio en los rendimentos oscilarán entre -30 a 30% , dependiendo de la variación en la temperatura y la región. Esto concuerda con la variación en el redimiento promedio de maíz a futuro de los modelos utilizados en este estudio.

En cuanto a la época de siembra los efectos del cambio climático sobre los rendimientos de maíz son muy diversos, inclusive dentro de una misma estación. Entre las estaciones más destacadas con respecto a su variación se encuentran: las estaciones de Ahuachapán, Planes de Montecristo y Chiltiupán. La primera y segunda se caracterizan por presentar una disminución en la época de primera y luego en la de postrera presentan un aumento mayor al 70%. Mientras que, la estación de Chiltiupán en las tres épocas de siembra presenta un aumento en los rendimientos de maíz promedios (Cuadro 17).

Cuadro 17. Rendimiento de maíz promedio por época de siembra de los modelos evaluados de 2020-2050 bajo el escenario de RCP 8.5.

Estación	Primera		Postrera		Apante	
	Rendimiento (ton/ha)	Variación (%)	Rendimiento (ton/ha)	Variación (%)	Rendimiento (ton/ha)	Variación (%)
Ahuachapán	1.19	-2.85	1.72	84.16	1.16	15.48
Candelaria de la Frontera	1.46	19.30	1.16	23.94	1.00	NR
Cerrón Grande	1.20	-2.20	0.90	-3.58	1.04	3.44
Chiltiupán	1.66	35.15	1.67	78.86	1.49	48.78
Chorrera del guayabo	1.05	-14.06	0.79	-14.99	0.97	-2.91
Cojutepeque	1.66	35.58	1.28	36.96	1.00	NR
La Hachadura	1.07	-13.08	0.96	3.07	1.02	1.73
Los Naranjos	0.74	-39.43	0.89	-5.03	0.73	-27.65
Nueva Concepción	1.79	46.06	0.91	-2.48	1.00	NR
Planes de Montecristo	1.02	-16.94	1.53	63.68	1.00	NR
Puente Cuscatlán	1.08	-11.80	1.45	55.51	1.07	6.85
Santa Ana-UNICAES	0.85	-30.39	0.96	3.15	1.32	31.58

NR: No se encontró relación entre las variables climáticas y los rendimientos de maíz.

El cambio climático dependiendo de los modelos utilizados y la región puede tener distintas consecuencias. Dentro de una misma región existen distintas posibilidades. Además, el cambio de resolución temporal de los datos de promedio anual a un promedio mensual deriva en una mejor aproximación a los posibles cambios, puesto que información más detallada deriva resultados más precisos (Huth, Banabas, Nelson y Webb, 2014).

En términos de variabilidad los rendimientos de maíz por temporada tienden ser más dispersos con respecto a los rendimientos por variedad cultivada. En la región occidental y centro-oriental de El Salvador, los rendimientos de maíz promedios a futuro disminuirían debido al aumento en la temperatura. Únicamente las estaciones de Candelaria de la Frontera, Chiltiupán, Cojutepeque y Nueva Concepción tendrán un aumento esto se puede deber a las condiciones orográficas de las estaciones (Figura 10).

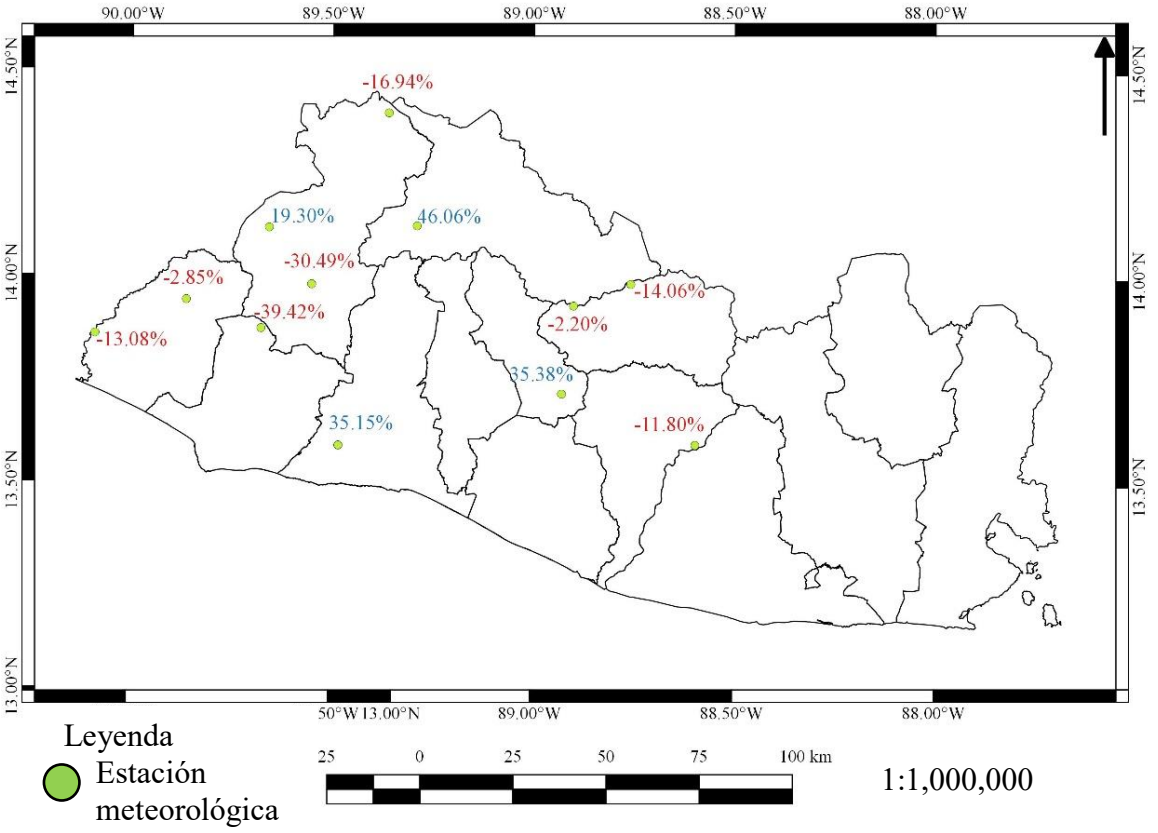


Figura 10. Distribución de rendimientos de maíz promedios en la época de primera de 2020-2050 bajo el escenario de RCP 8.5.

La variación promedio de los modelos es un incremento del 84% en Ahuachapán, el equivalente a 1.72 toneladas por hectárea. La variación del rendimiento es similar al cambio encontrado por Etizinger, A. et al. No obstante, ellos encontraron una disminución del 73.9% en el rendimiento de maíz en el departamento de La Paz. Asimismo, estos determinaron que el departamento de Ahuachapán tiene el potencial de incremento debido

al cambio climático. Sin embargo, a pesar del alza según Etizinger, et al. en el 2013 determinaron que un rendimiento igual a 1.5 toneladas por hectárea es un rendimiento considerado bajo. El rendimiento promedio encontrado en este estudio solo incrementaría un 15% con lo que ellos consideran bajo. Por lo que, a pesar del gran aumento en términos de porcentuales, el rendimiento de manera absoluto se consideraría un rendimiento no tan bajo (Etizinger et al., 2013).

Las estaciones restantes coinciden con la variación en los rendimientos estimada por Rosenzweig y Hillel en el 2007. Los modelos están alrededor del -30 al 30%, dependiendo del lugar. Por otra parte en las tres épocas las estaciones que se vieron más afectadas por el cambio climático fueron la estación de Chorrera del Guayabo y Santa Ana-UNICAES. Esto coincide con lo propuesto por Etizinger et al. (2013). Ellos establecieron que los departamentos más susceptibles al cambio climático son los departamentos de Cuscatlán, La Unión, Ahuachapán, y San Miguel. La estación de Chorreara del Guayabo se encuentra el departamento de Cuscatlán, mientas que la estación de Ahuachapán es la cabecera departamental de Ahuachapán. Lo cual explica su gran disminución respecto al resto de las estaciones.

Para la época de postrera ocho de las 12 estaciones presentaron un aumento en su rendimiento promedio. La única región que presento una disminución es la zona norte de El Salvador (a excepción de Planes de Montecristo). En esta zona se encuentran las estaciones de Cerrón Grande, Chorrera del Guayabo, Nueva Concepción y los Naranjos que se encuentran hacia el occidente del país. Mientras que, el resto de las estaciones tendrán un aumento en los rendimientos promedios (Figura 11).

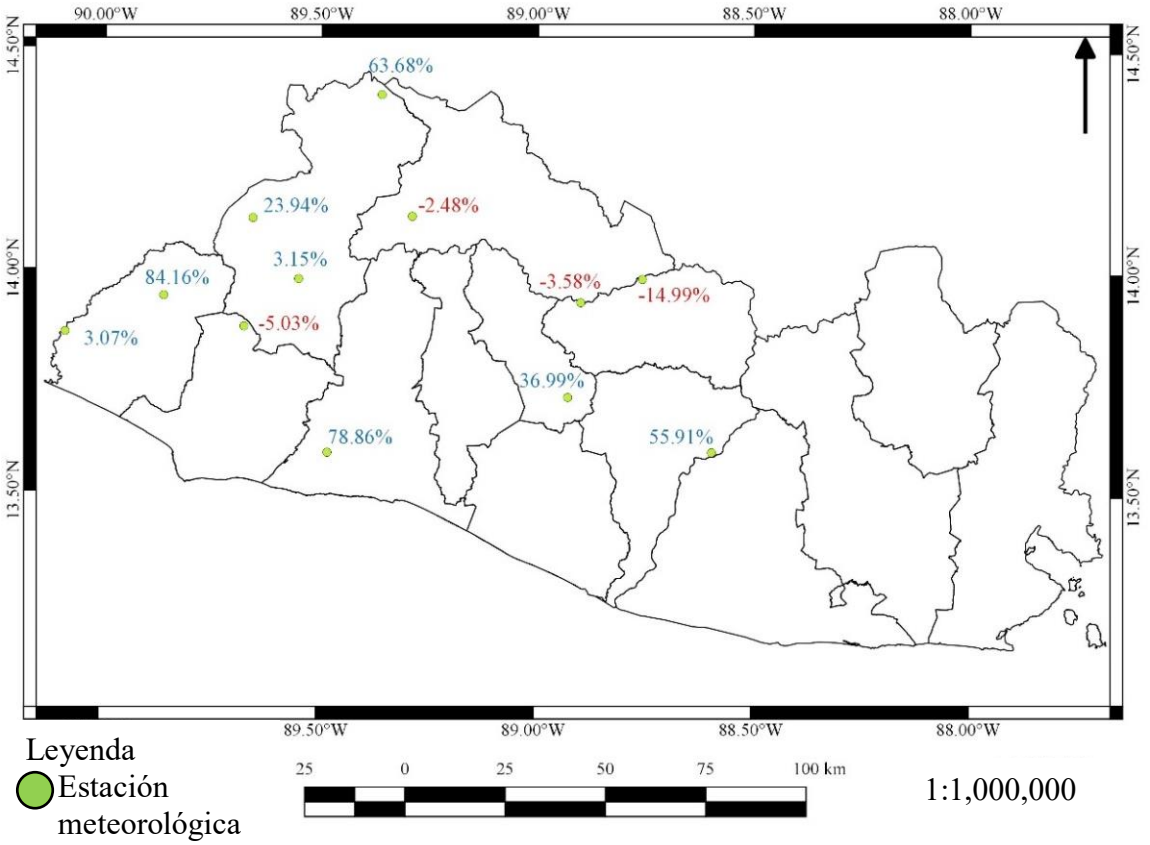


Figura 11. Distribución de rendimientos de maíz promedios en la época de postrera de 2020-2050 bajo el escenario de RCP 8.5.

Por otra parte, la mayor parte de las estaciones demostraron tener un incremento en sus rendimientos debido al cambio climático. Esto contrasta con los resultados encontrados por Etizinger et al. (2013) y Ordaz et al. (2010). Los primeros consideraron el aumento en los rendimientos de maíz, siempre y cuando los suelos se mantuvieran de buena calidad. Sin embargo, según Bouroncle et al. en 2015 determinaron que la mayor parte de los suelos de El Salvador se degradarán al 2030. Por lo que, el escenario más probable para los rendimientos a futuro será cuando el suelo se degrade y los rendimientos disminuyan; mientras que Ordaz et al. (2010) no consideran la posibilidad de un incremento en los rendimientos de maíz debido al cambio climático. Por lo que, el cultivo de maíz deberá de migrar a las zonas donde el impacto del cambio climático será menor o tendrá un efecto positivo.

Finalmente, para la época de apante, la variación en los rendimientos tendrá una distribución espacial distinta las otras épocas. Según este estudio, a futuro en la época de apante la producción de maíz solo será viable en la zona oeste del país; mientras que en la zona centro y centro-oriente la producción de maíz no será posible debido al cambio climático (Figura 12).

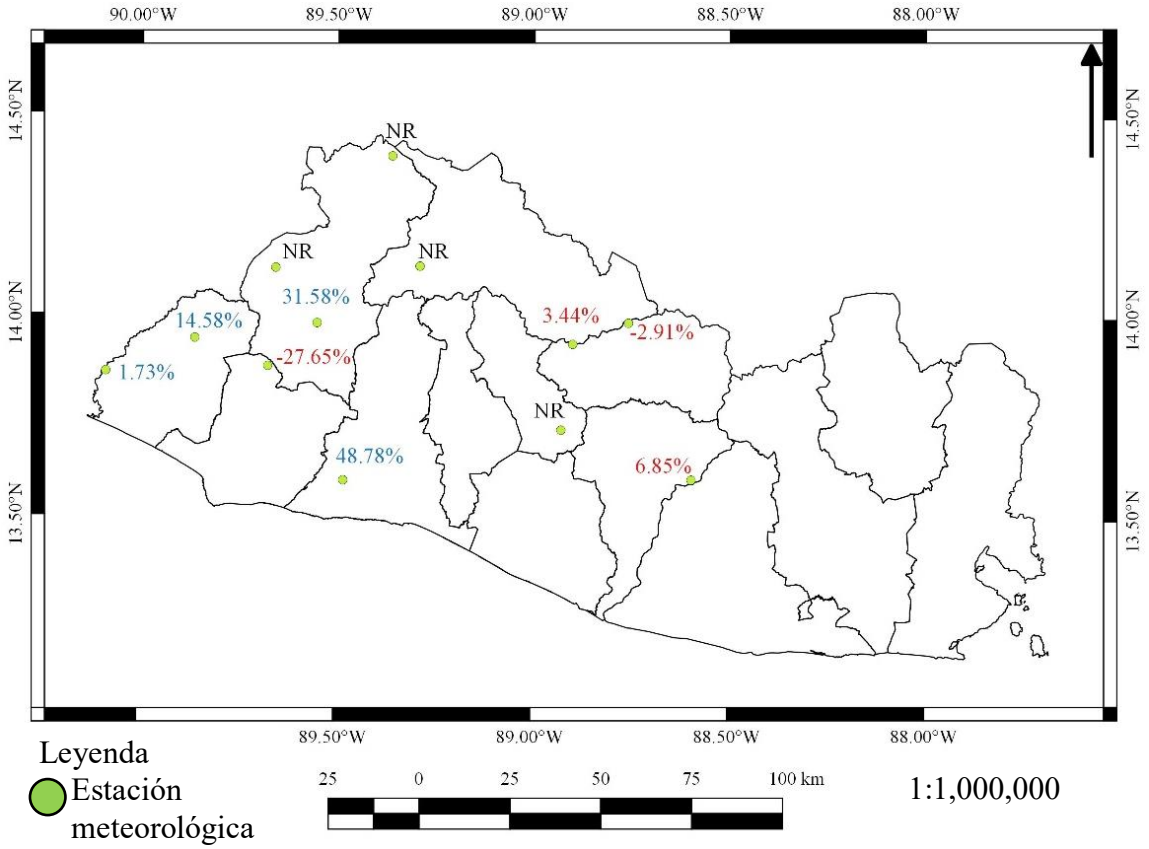


Figura 12. Distribución de rendimientos de maíz promedios en la época de apante de 2020-2050 bajo el escenario de RCP 8.5.

4. CONCLUSIONES

- Se determinó que las variables de temperatura media, humedad relativa, precipitación, índice de temperatura-humedad y el ENOS tienen un efecto en los rendimientos de maíz, el cual aumenta al cambiar de una resolución anual a una mensual, tanto a nivel de variedad cultivada como por época de siembra. Las épocas de primera y postrera demostraron ser susceptibles al ENOS, mientras que la época de apante no demostró ser influenciada.

- Es posibles estimar los rendimientos de maíz promedios y su variabilidad a futuro para la variedad cultivada y por época de siembra de las distintas regiones de El Salvador. El rendimiento de la variedad mejorada respondió mejor a la simulación de las variables climáticas a nivel de variedad cultivada; mientras que el rendimiento en la época de primera demostró tener los mejores ajustes a las variables climáticas nivel de época de siembra.

- El cambio climático tendrá un impacto en los rendimientos de maíz promedios bajo el escenario de RCP 8.5, tanto por variedad cultivada, como por época de siembra. La variación de los rendimientos de maíz por variedad cultivada oscilará entre -30 a 30%; mientras que, para la época de siembra variará entre -50 a 80%.

5. RECOMENDACIONES

- Utilizar datos a una resolución diaria de temperatura, humedad relativa, precipitación, índice de humedad-temperatura y el Niño, tanto en la parte histórica como en los modelos a futuro. Además, usar un modelo que simule el comportamiento del maíz durante todas sus etapas fenológicas.

- Incluir las estaciones metereológicas excluidas en este estudio, mediante el rellenado de datos de una forma que garantice la certeza de los datos.

- Añadir a las ecuaciones de regresión las variables de concentración de dióxido de carbono, tipo y calidad de suelo, uso de fertilizantes, plagas y enfermedades así como la población económicamente activa.

- Realizar un análisis de vulnerabiliad tanto de los grandes, medianos y pequeños productores de maíz al cambio climático y el efecto de los cambios de rendimientos de maíz en la calidad de vida de las personas de El Salvador.

- Elaborar un análisis de impacto económico de la variación de los rendimientos de maíz debido al cambio climático y su efecto en la población de El Salvador.

- Comparar los rendimientos de maíz utilizando distintos modelos de circulación y escenarios de RCP distintos.

6. LITERATURA CITADA

Angot, A. (1987). Regime des pluies de L'Europe occidentale. An. Bur. central Mét. *Paris, 1*(B), 155-192.

Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID). (2015). *Daños y pérdidas en cosecha de Primera para agricultores de subsistencia.* Recuperado de Fews Net sitio web: http://fews.net/sites/default/files/documents/reports/Centroamerica%20RMU%202015%207.pdf

Bouroncle, C., Imbach, P., Läderach, P., Rodríguez, B., y Fung, E. (2015). *La agricultura de El Salvador y el cambio climático: ¿Dónde están las prioridades para la adaptación?* Recuperado de https://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/45940/PB%20El%20Salvador. pdf

Cabrera , O., y Amaya, P. (2012). *Vulnerabilidad Socioecnómica ante el Cambio Climático en El Salvador.* Centro Latinoamericano para el Desarrollo Rural.

Collins, M., Knutti, R., Arblaster, J., Fichefet, T., Friendlingstein, P., y Wehner, M. (2013). *Long Term Climate Change: Projections, Commitments and Irreversibility. Climate Change 2013: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I Fifht Assesment Report of the Intergovernamental Panel of Climate Change.* Cambridge & New York: Cambridge University Press.

Dirección General de Estadísticas y Censos (DIGESTYC). (2005). *Censo Nacional Agropecuario 2007-2008.*

Eitzinger, A., Läderach, P., Sonder, K., Schmidt, A., Sain, G., Beebe, S.… Nowak, A. (2013). *Tortillas en el Comal: Los Sistemas de Maíz y Fríjol de América Central y el Cambio Climático*. Recuperado de https://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/41675/politica_sintesis6_tortillas_en_comal.pdf?sequence=1

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (s.f). *Crop*. Recuperado de FAO Sitio web: http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (s.f). *Adaptación de la Agricultura al cambio climático*. Recuperado de http://www.fao.org/fileadmin/templates/tci/pdf/backgroundnotes/webposting_SP.pdf

Ferrufino, A. (2009). *Map of the Seed Market for White Maize and Beans in Central America [Mapeo del mercado de semillas de maíz y frijol en Centroamérica]*. Managua, Nicaragua: IICA.

Fundación para la Investigación del Clima. (2018). Procesos a seguir para generar escenarios. *Capacitación en Adaptación al Cambio Climático y Reducción de Riesgos de Desastres para Docentes Universitarios.* Zamorano.

Hidalgo, H. G., Amador, J. A., Alfaro, E. J., y Quesada, B. (2013). Hydrological climate change projections for Central America. *Journal of Hydrology, 495*, 94-112.

Hidalgo, H. (2014). Cambio climático. Heredia: Universidad de Costa Rica.

Hidalgo, H., y Alfaro, E. (2015). Skill of CMIP5 climate models in reproducing 20th century basic climate features in Central America. *International Journal of Climatology, 35*(12), 3397-3421. doi:10.1002/joc.4216

Huth, I. N., Banabas, M., Nelson, P. N., y Webb, M. (19 de Julio de 2014). Development of an ouil plam cropping systems model: Lessons learned and future directions. *Enviromnetal Modelling & Software, 62*, 411-419.

Instituto Interamericano de Coperación para la Agricultura (IICA). (2012). *Impacto del cambio climático en la agricultura.* San José: IICA. Recuperado de https://www .iica.int/sites/default/files/document/2015-08/nota_ tecnica_03-12.pdf

Instituto Interamericano de Coperación para la Agricultura (IICA). (2014). *Participación del sector agropecuario latinoamericano en las negociaciones de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático y en otros foros internacionales: Resultados del Encuentro Regional "Fortalecimiento del Diálogo Interamericano sobre Agricultura y Cambio Climático".* Recuperado de: http://www.infoagro.net/sites/default/files/migrated_documents/attachment/ES_21 3vbfh225561.pdf

Instituto Interamericano de Coperación para la Agricultura (IICA). (2016). *El fenómeno de "El Niño" en la agricultura de las Américas.* IICA. Recuperado de http:// repositorio .iica.int/bitstream/11324/3041/1/BVE17068953e.pdf

Instituto Interamericano de Coperación para la Agricultura (IICA). (2017). *Guía técnica: El cultivo de maíz.* Recuperado de IICA http://repiica.iica.int/docs/b3469e/ b3469e. pdf

Imbach, P., Molina, L., Locatelli, B., Roupsard, B. Mahé, G., Neilson, R.,…Ciais, P. (Abril de 2012). Modeling Potential Equilibrium States of Vegetation and Terrestrial Water Cycle of Mesoamerica under Climate Change. Scenarios. *American Metereological Society*. *13*,665-680. Recuperado de: https://journals.ametsoc.org/ doi/pdf/10.1175/JHM-D-11-023.1

Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). (2013). *Glosario [Planton, S. (ed.)]. En: Cambio Climático 2013. Bases físicas. Contribución del Grupo de trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental*

de Expertos sobre el Cambio Climático. Recuperado de https ://www.ipcc.ch/pdf /assessment-report/ar5/wg1/WGI_AR5_glossary_ES.pdf

Jiménez Umaña, M. (Abril de 2005). *El Niño y el sector agropecuario centroamericano: Alerta, impacto y respuesta.* Recuperado de repositorio IICA sitio web: http://repiica .iica.int/docs/B0451e/B0451e.pdf

Keleman, H. A., y Bellon, M. (02 de Febrero de 2009). Maize divesrity, rural development policy, and farme spractices: lessons from Chiapas, Mexico. *Geographical Journal, 175*(1), 52-70. doi:10.1111/j.1475-4959.2008.00314.x

Minsterio de Agricultua y Gandería (MAG). (2017). *Anuario de Estadísticas Agropecuarias 2016-2017.* Recuperado de MAG sitio web:http://www.mag.gob.sv/ direccion-general-de-economia-agropecuaria/ estadisticas-agropecuarias/anuarios-de-estadisticas-agropecuarias/

Magrin, G. O. (2014). *Central and South America. Climate Change 2014: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Part B: Regional Aspects, Contributions of Working Group II to the Fith Assesment Reporty of the Intergovernmental Panel of Climate Change.* Cambridge & New York: Cambridge University Press.

Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN). (2013). *Segunda comunicación nacional sobre cambio climático El Salvador.* MARN; PNUD.

Metha, A., y Markert, K. (2018). Introducción al uso del Modelo VIC con Observaciones del Tierra de la NASA. Recuperdo de https://arset.gsfc.nasa.gov/sites/default/ files/ water/18-VIC/s1-spanish.pdf

Menchú, T., y Méndez, H. (2011). *Análisis de la situación alimentaria de El Savador.* (INCAP, Ed.) Retrieved from https://www.paho.org/els/index.php? option=com_ docman&view=download&alias=772-analisis-de-la-situacion-alimentaria-en-el-salvador&category_slug=nutricion&Itemid=364

Méndez, V., Morris, K. S., y Olson, M. B. (17 de Mayo de 2012). Cultivation of the maize landrances by small-scale shade coffe farmers in western El Salvador [Cultivo de las tierras de maíz por pequeños productores de café de sombra en el oeste de El Salvador]. *Agricultural Systems, 111*, 63-74. Recuperado de https://www.uvm.edu/ agroecology/wp-content/uploads/2017/05/OlsonMEtAl_ CultivationMaizeLandracesCoffeeFarmersElSalv_12.pdf

Ordaz, J. L. (2010). *El Salvador efectos del cambio climático sobre la agricultura*. Recuperado de http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/25919/lcmexl969.pdf?sequence=1

Ortas, L. (2008). *El cultivo de maíz: fisiología y aspectos.* Obtenido de AGRIGAN Sitio web:https://rdu-demo.unc.edu.ar/bitstream/handle/123456789/703/Agrigan%20 bolet%C3%ADn%207.pdf?sequence=1

Rayner N. A., D. E. Parker, E. B. Horton, C. K. Folland, L. V. Alexander, D. P. Rowell, E. C. Kent, A. Kaplan. (2003). Global analyses of sea surface temperature, sea ice, and night marine air temperature since the late nineteenth century [Análisis global de la temperatura de la superficie, hielo marino y temperatura del aire marino de la noche desde finales del siglo diecinueve], *Journal of Geophysical Research*, 108 (D14), 4407, doi:10.1029/2002JD002670.

Román, H., 2010. Efectos del estrés térmico sobre la fertilidad del ganado bovino. Programa de investigación con ganado lechero en clima tropical instituto nacional de investigaciones pecuarias. SARH. Veracruz. México. Ciencia *Veterinaria*. *2*:265-288.

Rosenzweig, C. y Hillel, D. (2007). Agriculture and Climate Change: Effects and Responses [Agricultura y cambio climático: efectos y respuestas]. *Phi Kappa Phi Forum*, *87*(1), 19.

Suazo, L. y Rodríguez , E. (2017). *Introducción al Cambio Climático.* Tegucigalpa.

Tenorio, E. y Ochoa, I. (2015). *Variabiliad y Cambio Climático.* Objetivo de Aprendizaje, 1era Edición. Valle del Yegüare, Honduras: Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano

Thom, E. C. (2010). The Discomfort Index. *12*(2), 57-60. doi: 10.1080/00431672.1959. 9926960

Tinoco-Rueda, J., Gómez-Díaz, J., y Monterroso-Rivas, A. (2011). Efecto del Cambio Climático en la Distribución Potencial del maíz en el Estado de Jalisco, México. *29*(2).

West, J., B. Mullinix, y J. Bernard. 2003. Effects of hot, humid weather on milk temperature, dry matter intake, and milk yield of lactating dairy cows. *Dairy Science*. *86*:232–242

Zamora-Salgado, S., Ruiz-Espinoza, F. H., Beltrán-Morales, F. A., Fenech-Larios, L., Murillo-Amador, B., Loya-Ramírez, J., y Troyo-Diéguez, E. (2011). Régimen Hídrico del Maíz en una zona árida, determinando en porcentajes de evaporación. *Tropical and Subtropical Agroecosysems, 13*, 181-186.

7. ANEXOS

Anexo 1. Glosario de términos.

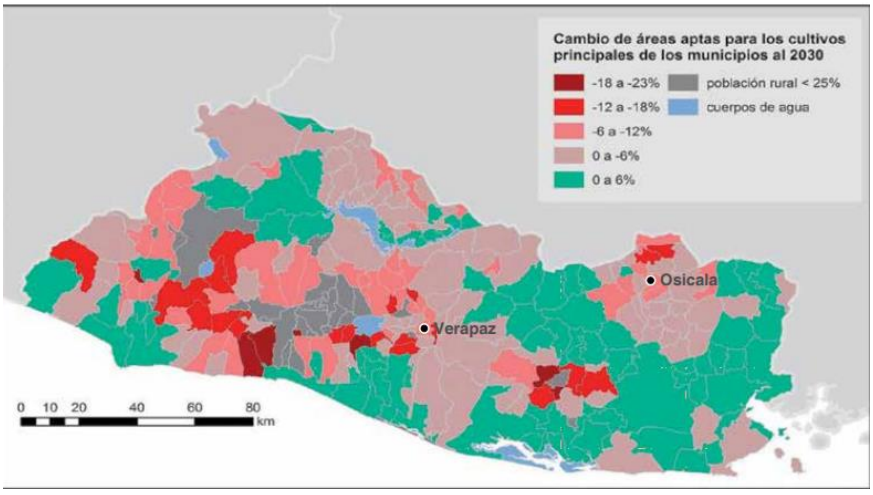
Cambio climático: Cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera global y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables.
El Niño: Un calentamiento del agua en toda la cuenca del Océano Pacífico tropical al este de la línea internacional de cambio de fecha. Este fenómeno oceánico está asociado a cierta fluctuación de un patrón global de presiones en la superficie tropical y subtropical que se denomina Oscilación del Sur.
Clases agrológica: Capacidad del uso de suelo según su capacidad, de acuerdo a los lineamientos establecidos por la FAO.
Variabilidad Climática: nota las variaciones del estado medio y otras características estadísticas (desviación típica, sucesos extremos, etc.) del clima en todas las escalas espaciales y temporales más amplias que las de los fenómenos meteorológicos. La variabilidad puede deberse a procesos internos naturales del sistema climático (variabilidad interna) o a variaciones del forzamiento externo natural o antropogénico (variabilidad externa)
Primera: Esta época generalmente comprende desde el 15 al 30 de mayo, para la zona costera (0 a 400 msnm); y del 15 de mayo hasta el 15 de junio, para los valles intermedios (400 a 900 msnm). Estas fechas pueden variar de acuerdo con el establecimiento de la época lluviosa.
Postrera: Época llamada también tunalmil, comprendida del 15 al 31 de agosto, especialmente para valles intermedios (400 a 900 msnm) y la región oriental del país. En esta época, puede tenerse el riesgo que la estación lluviosa termine antes que el cultivo haya llegado a su etapa de madurez o secado; lo que puede traer como consecuencia disminución del rendimiento.
Apante: Es la que se realiza en aquellos terrenos que permanecen inundados durante la época lluviosa, los cuales retienen suficiente humedad para ser utilizada hasta que la época lluviosa finalice. Los meses de siembra pueden variar según las circunstancias de cada zona, la época puede comprender desde diciembre hasta febrero
Modelos General de Circulación: es un modelo de tipo matemático sobre lo que es la circulación de una atmósfera u océano planetario y se basan en ecuaciones Navier-Stokes sobre una esfera rotatoria utilizando términos termodinámicos para las diversas fuentes de energía (radiación, calor latente).
RCP: Las trayectorias de concentración representativas generalmente hacen referencia a la parte de la trayectoria de concentración hasta 2100, para las cuales los modelos de evaluación integrados han producido los correspondientes escenarios de emisión.
Forzamiento Radiativo: Variación, expresada en W/m^2, del flujo radiativo (la descendente menos la ascendente) en la tropopausa o en la parte superior de la atmósfera, debida a una variación del causante externo del cambio climático; por ejemplo, una variación de la concentración de dióxido de carbono o de la radiación solar

Anexo 2. Temperatura media en grados centígrados y su variación por período (1950 a 2006), El Salvador

Período	**1905-1959**	**1960-1969**	**1970-1979**	**1980-1989**	**1990-1999**	**2000-2006**
Temperatura media (°C)	24.2	24.3	24.6	24.8	25.1	25.5
Variación (°C)[&]		0.1	0.3	0.2	0.3	0.4

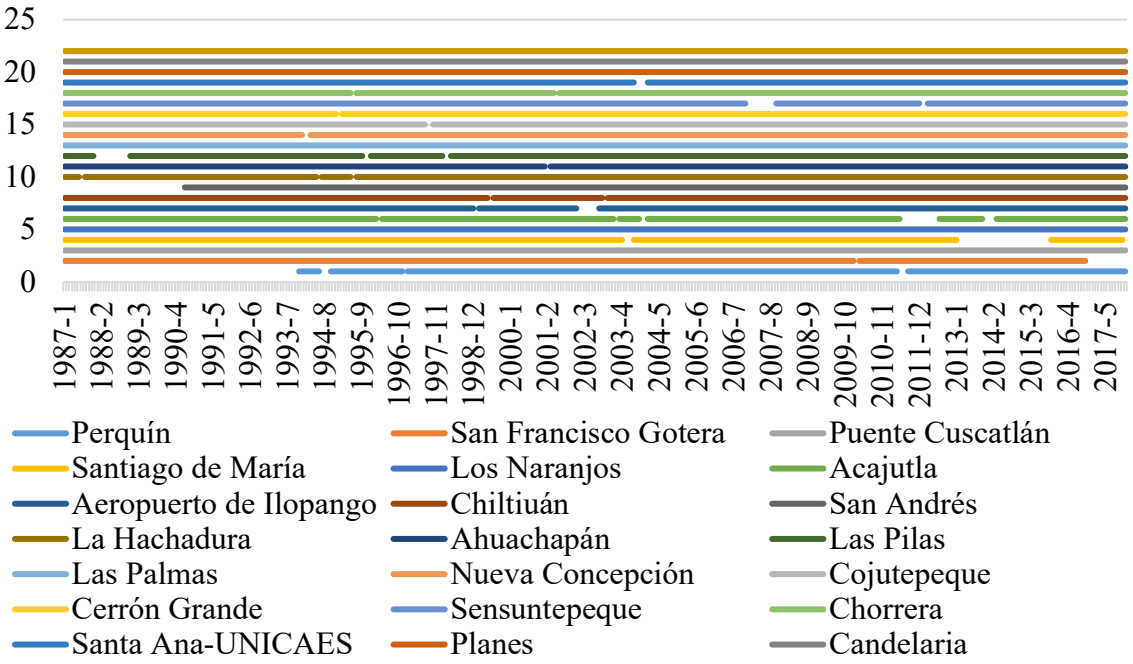
Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo (CCAD)/Sistema de Integración Centroamérica (SICA), Departamento de Desarrollo Internacional del Reino Unido (UKAID) y la Administración Danesa para el Desarrollo Internacional (DANIDA) (2011).
&: la variación corresponde al período anterior.

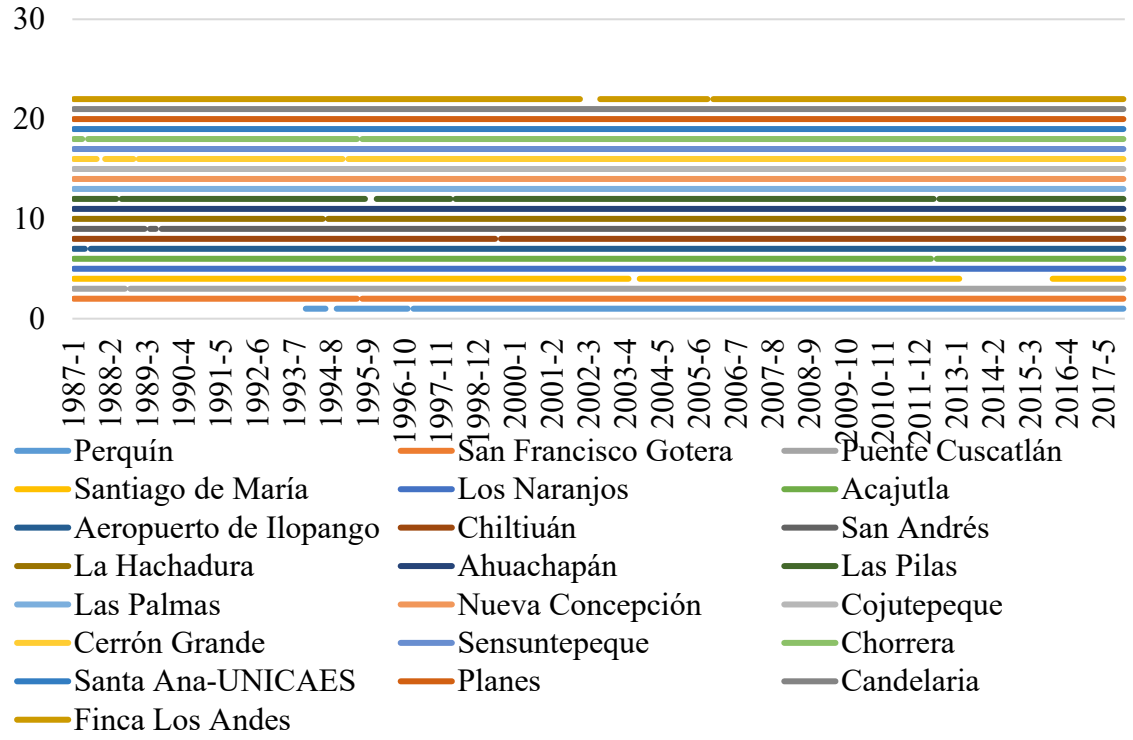
Anexo 3. Municipios de El Salvador según la ganancia o pérdida neta que tendrán para el año 2030 de zonas aptas para el cultivo de café, caña de azúcar, frijol, maíz y sorgo.

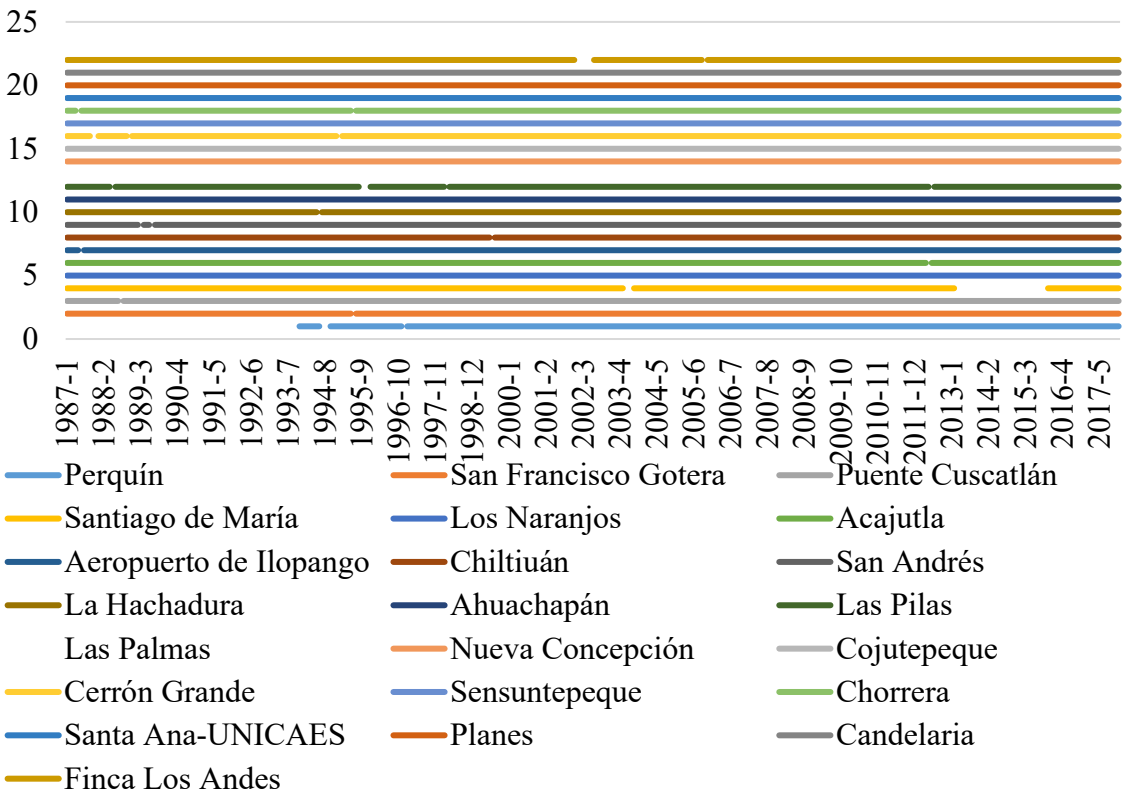


Fuente: Bouroncle, Imbach, Läderach, Rodríguez, & Fung, 2015.

Anexo 4. Gráficas de continuidad de temperatura, precipitación y humedad relativa para las estaciones meteorológicas de El Salvador.






25
20
15
10
5
0
1987-1
1988-2
1989-3
1990-4
1991-5
1992-6
1993-7
1994-8
1995-9
1996-10
1997-11
1998-12
2000-1
2001-2
2002-3
2003-4
2004-5
2005-6
2006-7
2007-8
2008-9
2009-10
2010-11
2011-12
2013-1
2014-2
2015-3
2016-4
2017-5
Perquín
San Francisco Gotera
Puente Cuscatlán
Santiago de María
Los Naranjos
Acajutla
Aeropuerto de Ilopango
Chiltiuán
San Andrés
La Hachadura
Ahuachapán
Las Pilas
Las Palmas
Nueva Concepción
Cojutepeque
Cerrón Grande
Sensuntepeque
Chorrera
Santa Ana-UNICAES
Planes
Candelaria
Finca Los Andes

Anexo 5. Rendimientos de maíz promedios de la variedad mejorada de 2020-2050 bajo el escenario de RCP 8.5.

Estación	Modelo	Rendimiento (Ton/ha)	Variación (%)	Modelo	Rendimiento (Ton/ha)	Variación (%)
Ahuachapán	Ccsm4_r1i1p1	1.33	0.07	Ec_earth_r2i1p1	1.75	31.67
Ahuachapán	Ccsm4_r2i1p1	1.99	45.44	Giss_e2_r_r1i1p1	1.43	8.35
Ahuachapán	Ccsm4_r3i1p1	1.45	9.10	Miroc5_r1i1p1	1.71	28.66
Ahuachapán	Cesm1_cam5_r1i1p1	1.06	-20.24	Miroc5_r3i1p1	1.41	8.35
Ahuachapán	Cesm1_cam5_r2i1p1	1.41	6.09	Mpi_esm_lr_r1i1p1	1.26	-4.44
Ahuachapán	Cesm1_cam5_r3i1p1	1.50	12.86	Mpi_esm_lr_r2i1p1	1.77	33.18
Ahuachapán	Cmcc_cms_r1i1p1	1.66	24.90	Mpi_esm_lr_r3i1p1	1.18	-11.97
Candelaria de la Frontera	Ccsm4_r1i1p1	1.45	11.34	Ec_earth_r2i1p1	1.39	5.96
Candelaria de la Frontera	Ccsm4_r2i1p1	1.40	6.73	Giss_e2_r_r1i1p1	1.45	11.34
Candelaria de la Frontera	Ccsm4_r3i1p1	1.40	7.50	Miroc5_r1i1p1	1.46	11.34
Candelaria de la Frontera	Cesm1_cam5_r1i1p1	0.75	-42.41	Miroc5_r3i1p1	1.23	-5.55
Candelaria de la Frontera	Cesm1_cam5_r2i1p1	1.32	1.36	Mpi_esm_lr_r1i1p1	1.32	1.36
Candelaria de la Frontera	Cesm1_cam5_r3i1p1	1.32	1.36	Mpi_esm_lr_r2i1p1	1.43	9.80
Candelaria de la Frontera	Cmcc_cms_r1i1p1	1.33	2.13	Mpi_esm_lr_r3i1p1	1.42	9.04
Cerrón Grande	Ccsm4_r1i1p1	0.94	-28.57	Ec_earth_r2i1p1	0.83	-36.93
Cerrón Grande	Ccsm4_r2i1p1	0.90	-31.61	Giss_e2_r_r1i1p1	0.94	-28.57
Cerrón Grande	Ccsm4_r3i1p1	1.00	-24.01	Miroc5_r1i1p1	0.95	-52.13
Cerrón Grande	Cesm1_cam5_r1i1p1	1.32	0.30	Miroc5_r3i1p1	1.23	-6.53
Cerrón Grande	Cesm1_cam5_r2i1p1	0.97	-26.29	Mpi_esm_lr_r1i1p1	1.07	-19.45
Cerrón Grande	Cesm1_cam5_r3i1p1	0.78	-29.33	Mpi_esm_lr_r2i1p1	0.94	-25.57
Cerrón Grande	Cmcc_cms_r1i1p1	0.96	-26.29	Mpi_esm_lr_r3i1p1	0.99	-24.77
Cojutepeque	Ccsm4_r1i1p1	1.59	3.48	Ec_earth_r2i1p1	1.65	7.39
Cojutepeque	Ccsm4_r2i1p1	1.73	12.59	Giss_e2_r_r1i1p1	1.49	-3.03
Cojutepeque	Ccsm4_r3i1p1	1.52	-1.07	Miroc5_r1i1p1	1.43	-6.93
Cojutepeque	Cesm1_cam5_r1i1p1	2.16	40.58	Miroc5_r3i1p1	1-74	13.24
Cojutepeque	Cesm1_cam5_r2i1p1	1.65	7.39	Mpi_esm_lr_r1i1p1	1.67	8.69
Cojutepeque	Cesm1_cam5_r3i1p1	1.66	8.04	Mpi_esm_lr_r2i1p1	1.56	1.53
Cojutepeque	Cmcc_cms_r1i1p1	2.37	54.25	Mpi_esm_lr_r3i1p1	1.45	-5.63

Continuación **Anexo 5**. Rendimientos de maíz promedios de la variedad mejorada de 2020-2050 bajo el escenario de RCP 8.5.

Estación	Modelo	Rendimiento (Ton/ha)	Variación (%)	Modelo	Rendimiento (Ton/ha)	Variación (%)
Chiltiupán	Ccsm4_r1i1p1	1.69	9.58	Ec_earth_r2i1p1	1.89	22.55
Chiltiupán	Ccsm4_r2i1p1	2.05	33.57	Giss_e2_r_r1i1p1	1.74	12.82
Chiltiupán	Ccsm4_r3i1p1	1.68	8.93	Miroc5_r1i1p1	1.70	10.23
Chiltiupán	Cesm1_cam5_r1i1p1	1.66	7.64	Miroc5_r3i1p1	1.44	-1.44
Chiltiupán	Cesm1_cam5_r2i1p1	1.72	11.53	Mpi_esm_lr_r1i1p1	1.69	9.58
Chiltiupán	Cesm1_cam5_r3i1p1	1.79	16.07	Mpi_esm_lr_r2i1p1	1.72	11.53
Chiltiupán	Cmcc_cms_r1i1p1	1.77	14.77	Mpi_esm_lr_r3i1p1	2.11	36.82
Chorrera del Guayabo	Ccsm4_r1i1p1	1.47	2.03	Ec_earth_r2i1p1	0.61	-57.66
Chorrera del Guayabo	Ccsm4_r2i1p1	2.02	40.21	Giss_e2_r_r1i1p1	0.73	-49.33
Chorrera del Guayabo	Ccsm4_r3i1p1	1.45	0.64	Miroc5_r1i1p1	1.46	0.64
Chorrera del Guayabo	Cesm1_cam5_r1i1p1	0.53	-63.21	Miroc5_r3i1p1	1.51	4.81
Chorrera del Guayabo	Cesm1_cam5_r2i1p1	0.68	-52.80	Mpi_esm_lr_r1i1p1	0.70	-50.72
Chorrera del Guayabo	Cesm1_cam5_r3i1p1	0.54	-62.52	Mpi_esm_lr_r2i1p1	0.67	-53.50
Chorrera del Guayabo	Cmcc_cms_r1i1p1	0.65	-54.88	Mpi_esm_lr_r3i1p1	0.65	-54.19
Nueva Concepción	Ccsm4_r1i1p1	0.79	-45.18	Ec_earth_r2i1p1	1.13	-21.58
Nueva Concepción	Ccsm4_r2i1p1	0.82	-43.10	Giss_e2_r_r1i1p1	0.94	-35.46
Nueva Concepción	Ccsm4_r3i1p1	0.93	-35.46	Miroc5_r1i1p1	0.73	-49.34
Nueva Concepción	Cesm1_cam5_r1i1p1	2.05	42.26	Miroc5_r3i1p1	1.04	-27.83
Nueva Concepción	Cesm1_cam5_r2i1p1	1.33	-7.71	Mpi_esm_lr_r1i1p1	1.93	-2.15
Nueva Concepción	Cesm1_cam5_r3i1p1	1.57	8.95	Mpi_esm_lr_r2i1p1	1.17	-18.81
Nueva Concepción	Cmcc_cms_r1i1p1	1.29	-9.79	Mpi_esm_lr_r3i1p1	1.28	-11.18
Santa Ana-UNICAES	Ccsm4_r1i1p1	1.48	13.64	Ec_earth_r2i1p1	1.56	19.79
Santa Ana-UNICAES	Ccsm4_r2i1p1	1.66	26.70	Giss_e2_r_r1i1p1	1.50	15.18
Santa Ana-UNICAES	Ccsm4_r3i1p1	1.46	12.11	Miroc5_r1i1p1	1.50	14.41
Santa Ana-UNICAES	Cesm1_cam5_r1i1p1	1.47	12.88	Miroc5_r3i1p1	1.40	8.27
Santa Ana-UNICAES	Cesm1_cam5_r2i1p1	1.50	15.18	Mpi_esm_lr_r1i1p1	1.48	12.88
Santa Ana-UNICAES	Cesm1_cam5_r3i1p1	1.52	16.71	Mpi_esm_lr_r2i1p1	1.50	15.18
Santa Ana-UNICAES	Cmcc_cms_r1i1p1	1.50	15.18	Mpi_esm_lr_r3i1p1	1.48	12.88

Anexo 6. Rendimientos de maíz promedios de la variedad nacional de 2020-2050 bajo el escenario de RCP 8.5.

Estación	Modelo	Rendimiento (Ton/ha)	Variación (%)	Modelo	Rendimiento (Ton/ha)	Variación (%)
Ahuachapán	Ccsm4_r1i1p1	0.81	-29.14	Ec_earth_r2i1p1	1.21	7.18
Ahuachapán	Ccsm4_r2i1p1	0.87	-22.05	Giss_e2_r_r1i1p1	1.02	-9.65
Ahuachapán	Ccsm4_r3i1p1	0.86	-23.82	Miroc5_r1i1p1	0.77	-31.79
Ahuachapán	Cesm1_cam5_r1i1p1	2.03	79.82	Miroc5_r3i1p1	1.04	-6.99
Ahuachapán	Cesm1_cam5_r2i1p1	1.30	15.16	Mpi_esm_lr_r1i1p1	1.30	16.04
Ahuachapán	Cesm1_cam5_r3i1p1	1.51	33.76	Mpi_esm_lr_r2i1p1	1.16	2.75
Ahuachapán	Cmcc_cms_r1i1p1	1.31	16.04	Mpi_esm_lr_r3i1p1	1.78	57.67
Candelaria de la Frontera	Ccsm4_r1i1p1	0.94	-15.74	Ec_earth_r2i1p1	0.69	-38.15
Candelaria de la Frontera	Ccsm4_r2i1p1	0.63	-43.53	Giss_e2_r_r1i1p1	0.91	-18.43
Candelaria de la Frontera	Ccsm4_r3i1p1	0.91	-18.43	Miroc5_r1i1p1	0.95	-16.63
Candelaria de la Frontera	Cesm1_cam5_r1i1p1	0.47	-57.87	Miroc5_r3i1p1	0.87	-22.01
Candelaria de la Frontera	Cesm1_cam5_r2i1p1	0.73	-34.56	Mpi_esm_lr_r1i1p1	0.78	-30.08
Candelaria de la Frontera	Cesm1_cam5_r3i1p1	0.68	-39.04	Mpi_esm_lr_r2i1p1	0.87	-21.11
Candelaria de la Frontera	Cmcc_cms_r1i1p1	0.72	-35.46	Mpi_esm_lr_r3i1p1	0.90	-19.32
Cerrón Grande	Ccsm4_r1i1p1	0.82	-22.69	Ec_earth_r2i1p1	0.71	-33.86
Cerrón Grande	Ccsm4_r2i1p1	0.77	-28.28	Giss_e2_r_r1i1p1	0.80	-25.48
Cerrón Grande	Ccsm4_r3i1p1	0.86	-19.89	Miroc5_r1i1p1	0.57	-46.90
Cerrón Grande	Cesm1_cam5_r1i1p1	0.85	-20.82	Miroc5_r3i1p1	0.95	-11.51
Cerrón Grande	Cesm1_cam5_r2i1p1	0.81	-24.55	Mpi_esm_lr_r1i1p1	0.85	-20.82
Cerrón Grande	Cesm1_cam5_r3i1p1	0.78	-27.34	Mpi_esm_lr_r2i1p1	0.81	-24.55
Cerrón Grande	Cmcc_cms_r1i1p1	0.80	-25.48	Mpi_esm_lr_r3i1p1	0.84	-21.75
Chiltiupán	Ccsm4_r1i1p1	1.4	21.35	Ec_earth_r2i1p1	1.55	34.35
Chiltiupán	Ccsm4_r2i1p1	1.76	52.55	Giss_e2_r_r1i1p1	1.42	23.08
Chiltiupán	Ccsm4_r3i1p1	1.38	18.75	Miroc5_r1i1p1	1.40	21.35
Chiltiupán	Cesm1_cam5_r1i1p1	1.36	17.88	Miroc5_r3i1p1	1.52	4.01
Chiltiupán	Cesm1_cam5_r2i1p1	1.41	22.21	Mpi_esm_lr_r1i1p1	1.35	17.01
Chiltiupán	Cesm1_cam5_r3i1p1	1.47	27.41	Mpi_esm_lr_r2i1p1	1.43	23.95
Chiltiupán	Cmcc_cms_r1i1p1	1.48	28.28	Mpi_esm_lr_r3i1p1	2.26	95.89

Continuación **Anexo 6**. Rendimientos de maíz promedios de la variedad nacional de 2020-2050 bajo el escenario de RCP 8.5.

Estación	Modelo	Rendimiento (Ton/ha)	Variación (%)	Modelo	Rendimiento (Ton/ha)	Variación (%)
Los Naranjos	Ccsm4_r1i1p1	1.33	15.83	Ec_earth_r2i1p1	1.25	7.18
Los Naranjos	Ccsm4_r2i1p1	1.33	14.96	Giss_e2_r_r1i1p1	1.29	11.50
Los Naranjos	Ccsm4_r3i1p1	1.31	13.23	Miroc5_r1i1p1	1.31	13.23
Los Naranjos	Cesm1_cam5_r1i1p1	1.32	14.10	Miroc5_r3i1p1	1.26	9.78
Los Naranjos	Cesm1_cam5_r2i1p1	1.30	12.37	Mpi_esm_lr_r1i1p1	1.26	8.91
Los Naranjos	Cesm1_cam5_r3i1p1	1.29	11.50	Mpi_esm_lr_r2i1p1	1.34	15.83
Los Naranjos	Cmcc_cms_r1i1p1	1.33	14.96	Mpi_esm_lr_r3i1p1	1.29	11.50
Nueva Concepción	Ccsm4_r1i1p1	0.92	-17.29	Ec_earth_r2i1p1	1.93	71.64
Nueva Concepción	Ccsm4_r2i1p1	1.04	-7.51	Giss_e2_r_r1i1p1	1.55	37.84
Nueva Concepción	Ccsm4_r3i1p1	0.96	-14.63	Miroc5_r1i1p1	0.83	-26.19
Nueva Concepción	Cesm1_cam5_r1i1p1	2.11	87.65	Miroc5_r3i1p1	1.01	-10.18
Nueva Concepción	Cesm1_cam5_r2i1p1	1.98	76.09	Mpi_esm_lr_r1i1p1	1.41	71.64
Nueva Concepción	Cesm1_cam5_r3i1p1	2.40	114.33	Mpi_esm_lr_r2i1p1	1.95	74.31
Nueva Concepción	Cmcc_cms_r1i1p1	2.01	78.75	Mpi_esm_lr_r3i1p1	2.01	78.75
Puente Cuscatlán	Ccsm4_r1i1p1	1.03	-8.24	Ec_earth_r2i1p1	0.98	-12.70
Puente Cuscatlán	Ccsm4_r2i1p1	1.14	1.55	Giss_e2_r_r1i1p1	0.89	-20.72
Puente Cuscatlán	Ccsm4_r3i1p1	1.23	9.57	Miroc5_r1i1p1	1.03	-8.24
Puente Cuscatlán	Cesm1_cam5_r1i1p1	1.56	38.97	Miroc5_r3i1p1	1.37	22.04
Puente Cuscatlán	Cesm1_cam5_r2i1p1	1.22	8.68	Mpi_esm_lr_r1i1p1	1.56	38.97
Puente Cuscatlán	Cesm1_cam5_r3i1p1	1.12	-0.23	Mpi_esm_lr_r2i1p1	1.27	14.03
Puente Cuscatlán	Cmcc_cms_r1i1p1	1.02	-9.14	Mpi_esm_lr_r3i1p1	1.24	11.35
Santa Ana-UNICAES	Ccsm4_r1i1p1	1.55	38.08	Ec_earth_r2i1p1	1.75	55.90
Santa Ana-UNICAES	Ccsm4_r2i1p1	1.98	76.38	Giss_e2_r_r1i1p1	1.60	42.53
Santa Ana-UNICAES	Ccsm4_r3i1p1	1.51	34.52	Miroc5_r1i1p1	1.59	41.64
Santa Ana-UNICAES	Cesm1_cam5_r1i1p1	1.53	36.30	Miroc5_r3i1p1	1.37	22.04
Santa Ana-UNICAES	Cesm1_cam5_r2i1p1	1.60	42.53	Mpi_esm_lr_r1i1p1	1.54	37.19
Santa Ana-UNICAES	Cesm1_cam5_r3i1p1	1.64	46.10	Mpi_esm_lr_r2i1p1	1.59	41.64
Santa Ana-UNICAES	Cmcc_cms_r1i1p1	1.60	42.53	Mpi_esm_lr_r3i1p1	1.54	37.19

Anexo 7. Rendimientos de maíz promedios de la época de primera de 2020-2050 bajo el escenario de RCP 8.5.

Estación	Modelo	Rendimiento (Ton/ha)	Variación (%)	Modelo	Rendimiento (Ton/ha)	Variación (%)
Ahuachapán	Ccsm4_r1i1p1	0.97	-20.86	Ec_earth_r2i1p1	1.36	10.96
Ahuachapán	Ccsm4_r2i1p1	1.14	-6.99	Giss_e2_r_r1i1p1	1.22	-0.46
Ahuachapán	Ccsm4_r3i1p1	1.48	20.75	Miroc5_r1i1p1	1.22	0.46
Ahuachapán	Cesm1_cam5_r1i1p1	0.40	-67.36	Miroc5_r3i1p1	1.44	17.49
Ahuachapán	Cesm1_cam5_r2i1p1	1.01	-17.59	Mpi_esm_lr_r1i1p1	0.66	-46.15
Ahuachapán	Cesm1_cam5_r3i1p1	0.96	-21.87	Mpi_esm_lr_r2i1p1	1.19	-2.91
Ahuachapán	Cmcc_cms_r1i1p1	1.24	1.17	Mpi_esm_lr_r3i1p1	1.08	1.68
Candelaria de la Frontera	Ccsm4_r1i1p1	1.45	18.48	Ec_earth_r2i1p1	1.50	22.26
Candelaria de la Frontera	Ccsm4_r2i1p1	1.37	12.08	Giss_e2_r_r1i1p1	1.42	15.86
Candelaria de la Frontera	Ccsm4_r3i1p1	1.52	23.90	Miroc5_r1i1p1	1.35	10.15
Candelaria de la Frontera	Cesm1_cam5_r1i1p1	1.31	6.95	Miroc5_r3i1p1	1.31	6.88
Candelaria de la Frontera	Cesm1_cam5_r2i1p1	1.58	28.89	Mpi_esm_lr_r1i1p1	1.42	15.86
Candelaria de la Frontera	Cesm1_cam5_r3i1p1	1.84	49.83	Mpi_esm_lr_r2i1p1	1.42	15.86
Candelaria de la Frontera	Cmcc_cms_r1i1p1	1.25	24.20	Mpi_esm_lr_r3i1p1	1.41	15.04
Cerrón Grande	Ccsm4_r1i1p1	0.92	-25.24	Ec_earth_r2i1p1	0.80	-34.98
Cerrón Grande	Ccsm4_r2i1p1	0.96	-21.32	Giss_e2_r_r1i1p1	0.93	-24.12
Cerrón Grande	Ccsm4_r3i1p1	0.88	-28.28	Miroc5_r1i1p1	2.07	68.89
Cerrón Grande	Cesm1_cam5_r1i1p1	0.93	-24.28	Miroc5_r3i1p1	2.16	76.23
Cerrón Grande	Cesm1_cam5_r2i1p1	0.83	-32.57	Mpi_esm_lr_r1i1p1	2.03	65.63
Cerrón Grande	Cesm1_cam5_r3i1p1	0.84	-31.46	Mpi_esm_lr_r2i1p1	0.94	-23.31
Cerrón Grande	Cmcc_cms_r1i1p1	0.82	-32.90	Mpi_esm_lr_r3i1p1	2.03	65.63
Chiltiupán	Ccsm4_r1i1p1	1.44	17.80	Ec_earth_r2i1p1	1.26	2.41
Chiltiupán	Ccsm4_r2i1p1	1.66	35.17	Giss_e2_r_r1i1p1	2.45	99.72
Chiltiupán	Ccsm4_r3i1p1	1.10	-10.28	Miroc5_r1i1p1	1.66	35.44
Chiltiupán	Cesm1_cam5_r1i1p1	1.46	18.97	Miroc5_r3i1p1	1.56	27.28
Chiltiupán	Cesm1_cam5_r2i1p1	2.24	82.74	Mpi_esm_lr_r1i1p1	1.52	24.02
Chiltiupán	Cesm1_cam5_r3i1p1	2.29	86.89	Mpi_esm_lr_r2i1p1	1.58	28.91
Chiltiupán	Cmcc_cms_r1i1p1	1.18	-3.92	Mpi_esm_lr_r3i1p1	1.09	-11.07

Continuación **Anexo 7.** Rendimientos de maíz promedios de la época de primera de 2020-2050 bajo el escenario de RCP 8.5.

Estación	Modelo	Rendimiento (Ton/ha)	Variación (%)	Modelo	Rendimiento (Ton/ha)	Variación (%)
Chorrera del Guayabo	Ccsm4_r1i1p1	1.12	-8.86	Ec_earth_r2i1p1	0.66	-46.40
Chorrera del Guayabo	Ccsm4_r2i1p1	1.13	-8.04	Giss_e2_r_r1i1p1	0.66	-46.15
Chorrera del Guayabo	Ccsm4_r3i1p1	1.10	-10.07	Miroc5_r1i1p1	1.95	59.10
Chorrera del Guayabo	Cesm1_cam5_r1i1p1	0.84	-31.36	Miroc5_r3i1p1	1.98	61.55
Chorrera del Guayabo	Cesm1_cam5_r2i1p1	0.86	-30.11	Mpi_esm_lr_r1i1p1	1.48	20.75
Chorrera del Guayabo	Cesm1_cam5_r3i1p1	0.50	-59.30	Mpi_esm_lr_r2i1p1	0.70	-42.89
Chorrera del Guayabo	Cmcc_cms_r1i1p1	0.97	-20.96	Mpi_esm_lr_r3i1p1	0.40	-67.36
Cojutepeque	Ccsm4_r1i1p1	1.75	42.51	Ec_earth_r2i1p1	1.70	38.57
Cojutepeque	Ccsm4_r2i1p1	1.75	43.10	Giss_e2_r_r1i1p1	1.69	37.89
Cojutepeque	Ccsm4_r3i1p1	1.87	52.40	Miroc5_r1i1p1	1.59	29.72
Cojutepeque	Cesm1_cam5_r1i1p1	1.58	29.16	Miroc5_r3i1p1	1.76	43.60
Cojutepeque	Cesm1_cam5_r2i1p1	1.97	61.10	Mpi_esm_lr_r1i1p1	1.67	36.26
Cojutepeque	Cesm1_cam5_r3i1p1	1.84	50.14	Mpi_esm_lr_r2i1p1	1.77	44.41
Cojutepeque	Cmcc_cms_r1i1p1	1.64	33.96	Mpi_esm_lr_r3i1p1	1.62	32.18
La Hachadura	Ccsm4_r1i1p1	1.02	-17.09	Ec_earth_r2i1p1	0.93	-23.96
La Hachadura	Ccsm4_r2i1p1	1.28	4.06	Giss_e2_r_r1i1p1	0.99	-19.23
La Hachadura	Ccsm4_r3i1p1	1.28	4.65	Miroc5_r1i1p1	1.33	8.52
La Hachadura	Cesm1_cam5_r1i1p1	0.89	-27.66	Miroc5_r3i1p1	1.26	2.80
La Hachadura	Cesm1_cam5_r2i1p1	1.01	-17.58	Mpi_esm_lr_r1i1p1	0.86	-29.83
La Hachadura	Cesm1_cam5_r3i1p1	0.89	-27.32	Mpi_esm_lr_r2i1p1	0.92	-24.94
La Hachadura	Cmcc_cms_r1i1p1	0.92	-24.76	Mpi_esm_lr_r3i1p1	0.92	-24.94
Los Naranjos	Ccsm4_r1i1p1	0.81	-33.81	Ec_earth_r2i1p1	0.84	-31.60
Los Naranjos	Ccsm4_r2i1p1	0.58	-53.07	Giss_e2_r_r1i1p1	0.73	-40.52
Los Naranjos	Ccsm4_r3i1p1	0.49	-60.40	Miroc5_r1i1p1	1.37	11.78
Los Naranjos	Cesm1_cam5_r1i1p1	1.29	5.17	Miroc5_r3i1p1	0.91	-25.75
Los Naranjos	Cesm1_cam5_r2i1p1	1.11	-9.79	Mpi_esm_lr_r1i1p1	0.89	-27.38
Los Naranjos	Cesm1_cam5_r3i1p1	0.63	-48.82	Mpi_esm_lr_r2i1p1	0.71	-42.07
Los Naranjos	Cmcc_cms_r1i1p1	1.07	-131.80	Mpi_esm_lr_r3i1p1	0.85	-30.65

Continuación **Anexo 7.** Rendimientos de maíz promedios de la época de primera de 2020-2050 bajo el escenario de RCP 8.5

Estación	Modelo	Rendimiento (Ton/ha)	Variación (%)	Modelo	Rendimiento (Ton/ha)	Variación (%)
Nueva Concepción	Ccsm4_r1i1p1	1.52	23.81	Ec_earth_r2i1p1	1.91	56.08
Nueva Concepción	Ccsm4_r2i1p1	1.52	23.94	Giss_e2_r_r1i1p1	1.84	50.13
Nueva Concepción	Ccsm4_r3i1p1	1.53	25.00	Miroc5_r1i1p1	1.47	19.94
Nueva Concepción	Cesm1_cam5_r1i1p1	2.04	66.28	Miroc5_r3i1p1	1.60	30.54
Nueva Concepción	Cesm1_cam5_r2i1p1	1.98	61.40	Mpi_esm_lr_r1i1p1	2.56	108.87
Nueva Concepción	Cesm1_cam5_r3i1p1	2.87	134.34	Mpi_esm_lr_r2i1p1	1.93	57.47
Nueva Concepción	Cmcc_cms_r1i1p1	1.88	53.35	Mpi_esm_lr_r3i1p1	1.77	44.41
Planes de Montecristo	Ccsm4_r1i1p1	1.02	-16.93	Ec_earth_r2i1p1	0.81	-33.85
Planes de Montecristo	Ccsm4_r2i1p1	1.15	-6.34	Giss_e2_r_r1i1p1	0.96	-21.67
Planes de Montecristo	Ccsm4_r3i1p1	0.96	-21.43	Miroc5_r1i1p1	0.99	-19.23
Planes de Montecristo	Cesm1_cam5_r1i1p1	0.73	-40.59	Miroc5_r3i1p1	1.19	-2.91
Planes de Montecristo	Cesm1_cam5_r2i1p1	0.95	-22.44	Mpi_esm_lr_r1i1p1	1.01	-17.59
Planes de Montecristo	Cesm1_cam5_r3i1p1	0.84	-31.29	Mpi_esm_lr_r2i1p1	0.91	-25.75
Planes de Montecristo	Cmcc_cms_r1i1p1	0.80	-34.35	Mpi_esm_lr_r3i1p1	0.79	-35.54
Puente Cuscatlán	Ccsm4_r1i1p1	1.24	1.16	Ec_earth_r2i1p1	1.10	-10.18
Puente Cuscatlán	Ccsm4_r2i1p1	1.19	-2.80	Giss_e2_r_r1i1p1	0.85	-30.89
Puente Cuscatlán	Ccsm4_r3i1p1	0.73	-40.23	Miroc5_r1i1p1	1.22	-0.46
Puente Cuscatlán	Cesm1_cam5_r1i1p1	0.83	-31.98	Miroc5_r3i1p1	1.27	3.62
Puente Cuscatlán	Cesm1_cam5_r2i1p1	0.94	-23.19	Mpi_esm_lr_r1i1p1	0.83	-32.28
Puente Cuscatlán	Cesm1_cam5_r3i1p1	0.68	-44.17	Mpi_esm_lr_r2i1p1	0.85	-30.65
Puente Cuscatlán	Cmcc_cms_r1i1p1	0.86	-29.58	Mpi_esm_lr_r3i1p1	0.86	-29.83
Santa Ana-UNICAES	Ccsm4_r1i1p1	1.16	-5.66	Ec_earth_r2i1p1	0.71	-41.85
Santa Ana-UNICAES	Ccsm4_r2i1p1	0.81	-33.98	Giss_e2_r_r1i1p1	0.79	-35.54
Santa Ana-UNICAES	Ccsm4_r3i1p1	0.67	-45.19	Miroc5_r1i1p1	0.81	-33.91
Santa Ana-UNICAES	Cesm1_cam5_r1i1p1	1.01	-17.86	Miroc5_r3i1p1	0.82	-33.10
Santa Ana-UNICAES	Cesm1_cam5_r2i1p1	0.69	-43.80	Mpi_esm_lr_r1i1p1	0.80	-34.73
Santa Ana-UNICAES	Cesm1_cam5_r3i1p1	0.76	-38.38	Mpi_esm_lr_r2i1p1	0.77	-37.18
Santa Ana-UNICAES	Cmcc_cms_r1i1p1	0.72	-40.85	Mpi_esm_lr_r3i1p1	0.81	-33.91

Anexo 8. Rendimientos de maíz promedios de la época de postrera de 2020-2050 bajo el escenario de RCP 8.5

Estación	Modelo	Rendimiento (Ton/ha)	Variación (%)	Modelo	Rendimiento (Ton/ha)	Variación (%)
Ahuachapán	Ccsm4_r1i1p1	1.73	85.13	Ec_earth_r2i1p1	1.7	82.15
Ahuachapán	Ccsm4_r2i1p1	2.02	115.93	Giss_e2_r_r1i1p1	1.65	76.69
Ahuachapán	Ccsm4_r3i1p1	2.04	117.95	Miroc5_r1i1p1	1.04	11.37
Ahuachapán	Cesm1_cam5_r1i1p1	1.9	103.19	Miroc5_r3i1p1	1.41	50.99
Ahuachapán	Cesm1_cam5_r2i1p1	1.98	112.96	Mpi_esm_lr_r1i1p1	1.7	82.04
Ahuachapán	Cesm1_cam5_r3i1p1	1.97	111.30	Mpi_esm_lr_r2i1p1	1.38	47.77
Ahuachapán	Cmcc_cms_r1i1p1	1.88	101.76	Mpi_esm_lr_r3i1p1	1.68	79.90
Candelaria de la Frontera	Ccsm4_r1i1p1	1.16	24.45	Ec_earth_r2i1p1	1.17	25.28
Candelaria de la Frontera	Ccsm4_r2i1p1	1.24	32.43	Giss_e2_r_r1i1p1	1.16	24.22
Candelaria de la Frontera	Ccsm4_r3i1p1	1.16	23.79	Miroc5_r1i1p1	1.13	21.00
Candelaria de la Frontera	Cesm1_cam5_r1i1p1	1.12	19.75	Miroc5_r3i1p1	1.1	17.99
Candelaria de la Frontera	Cesm1_cam5_r2i1p1	1.16	24.47	Mpi_esm_lr_r1i1p1	1.15	23.14
Candelaria de la Frontera	Cesm1_cam5_r3i1p1	1.22	30.83	Mpi_esm_lr_r2i1p1	1.15	23.14
Candelaria de la Frontera	Cmcc_cms_r1i1p1	1.15	22.85	Mpi_esm_lr_r3i1p1	1.14	22.07
Cerrón Grande	Ccsm4_r1i1p1	0.5	-46.55	Ec_earth_r2i1p1	0.46	-50.97
Cerrón Grande	Ccsm4_r2i1p1	0.4	-56.75	Giss_e2_r_r1i1p1	0.52	-44.32
Cerrón Grande	Ccsm4_r3i1p1	0.26	-72.02	Miroc5_r1i1p1	1.93	106.67
Cerrón Grande	Cesm1_cam5_r1i1p1	0.45	-52.04	Miroc5_r3i1p1	2.05	119.52
Cerrón Grande	Cesm1_cam5_r2i1p1	0.52	-44.57	Mpi_esm_lr_r1i1p1	1.94	107.74
Cerrón Grande	Cesm1_cam5_r3i1p1	0.48	-48.93	Mpi_esm_lr_r2i1p1	0.57	-38.96
Cerrón Grande	Cmcc_cms_r1i1p1	0.59	36.63	Mpi_esm_lr_r3i1p1	1.94	107.74
Chiltiupán	Ccsm4_r1i1p1	1.76	87.98	Ec_earth_r2i1p1	1.69	81.25
Chiltiupán	Ccsm4_r2i1p1	1.91	10.83	Giss_e2_r_r1i1p1	1.48	58.48
Chiltiupán	Ccsm4_r3i1p1	1.91	104.77	Miroc5_r1i1p1	1.02	9.22
Chiltiupán	Cesm1_cam5_r1i1p1	1.75	86.44	Miroc5_r3i1p1	1.27	35.99
Chiltiupán	Cesm1_cam5_r2i1p1	1.9	103.40	Mpi_esm_lr_r1i1p1	1.16	24.22
Chiltiupán	Cesm1_cam5_r3i1p1	1.87	100.60	Mpi_esm_lr_r2i1p1	1.37	46.70
Chiltiupán	Cmcc_cms_r1i1p1	1.89	102.59	Mpi_esm_lr_r3i1p1	2.4	157.00

Continuación **Anexo 8**. Rendimientos de maíz promedios de la época de postrera de 2020-2050 bajo el escenario de RCP 8.5

Estación	Modelo	Rendimiento (Ton/ha)	Variación (%)	Modelo	Rendimiento (Ton/ha)	Variación (%)
Chorrera del Guayabo	Ccsm4_r1i1p1	0.63	-32.44	Ec_earth_r2i1p1	0.60	-35.47
Chorrera del Guayabo	Ccsm4_r2i1p1	0.48	-48.43	Giss_e2_r_r1i1p1	0.65	-30.40
Chorrera del Guayabo	Ccsm4_r3i1p1	0.64	-31.58	Miroc5_r1i1p1	1.30	39.21
Chorrera del Guayabo	Cesm1_cam5_r1i1p1	0.84	-9.61	Miroc5_r3i1p1	1.33	42.42
Chorrera del Guayabo	Cesm1_cam5_r2i1p1	0.66	-29.82	Mpi_esm_lr_r1i1p1	1.32	41.35
Chorrera del Guayabo	Cesm1_cam5_r3i1p1	0.62	-33.85	Mpi_esm_lr_r2i1p1	0.60	-35.75
Chorrera del Guayabo	Cmcc_cms_r1i1p1	0.95	2.19	Mpi_esm_lr_r3i1p1	0.49	-47.53
Cojutepeque	Ccsm4_r1i1p1	1.36	45.99	Ec_earth_r2i1p1	1.32	41.71
Cojutepeque	Ccsm4_r2i1p1	1.33	42.62	Giss_e2_r_r1i1p1	1.34	43.49
Cojutepeque	Ccsm4_r3i1p1	1.35	44.68	Miroc5_r1i1p1	1.34	43.49
Cojutepeque	Cesm1_cam5_r1i1p1	0.63	-32.49	Miroc5_r3i1p1	1.28	37.06
Cojutepeque	Cesm1_cam5_r2i1p1	1.34	43.87	Mpi_esm_lr_r1i1p1	1.29	39.14
Cojutepeque	Cesm1_cam5_r3i1p1	1.36	45.92	Mpi_esm_lr_r2i1p1	1.31	40.28
Cojutepeque	Cmcc_cms_r1i1p1	1.32	41.71	Mpi_esm_lr_r3i1p1	1.32	41.35
La Hachadura	Ccsm4_r1i1p1	0.81	-12.82	Ec_earth_r2i1p1	0.88	-6.22
La Hachadura	Ccsm4_r2i1p1	1.14	6.50	Giss_e2_r_r1i1p1	1.04	11.37
La Hachadura	Ccsm4_r3i1p1	1.14	22.32	Miroc5_r1i1p1	0.73	-21.83
La Hachadura	Cesm1_cam5_r1i1p1	1.02	9.21	Miroc5_r3i1p1	0.97	3.87
La Hachadura	Cesm1_cam5_r2i1p1	0.87	-6.42	Mpi_esm_lr_r1i1p1	1.15	223.14
La Hachadura	Cesm1_cam5_r3i1p1	0.87	-6.93	Mpi_esm_lr_r2i1p1	0.94	0.66
La Hachadura	Cmcc_cms_r1i1p1	1.04	10.87	Mpi_esm_lr_r3i1p1	1.02	9.22
Los Naranjos	Ccsm4_r1i1p1	0.90	-3.16	Ec_earth_r2i1p1	0.88	-5.29
Los Naranjos	Ccsm4_r2i1p1	1.08	15.39	Giss_e2_r_r1i1p1	0.84	-9.86
Los Naranjos	Ccsm4_r3i1p1	1.37	47.01	Miroc5_r1i1p1	0.79	-15.41
Los Naranjos	Cesm1_cam5_r1i1p1	0.23	-75.40	Miroc5_r3i1p1	0.71	-23.97
Los Naranjos	Cesm1_cam5_r2i1p1	0.85	-8.58	Mpi_esm_lr_r1i1p1	0.84	-10.95
Los Naranjos	Cesm1_cam5_r3i1p1	0.90	-3.62	Mpi_esm_lr_r2i1p1	0.86	-7.91
Los Naranjos	Cmcc_cms_r1i1p1	1.30	39.39	Mpi_esm_lr_r3i1p1	0.85	-8.98

Continuación **Anexo 8**. Rendimientos de maíz promedios de la época de postrera de 2020-2050 bajo el escenario de RCP 8.5

Estación	Modelo	Rendimiento (Ton/ha)	Variación (%)	Modelo	Rendimiento (Ton/ha)	Variación (%)
Nueva Concepción	Ccsm4_r1i1p1	0.95	1.97	Ec_earth_r2i1p1	0.92	-1.87
Nueva Concepción	Ccsm4_r2i1p1	0.95	2.20	Giss_e2_r_r1i1p1	0.93	-0.41
Nueva Concepción	Ccsm4_r3i1p1	0.97	3.80	Miroc5_r1i1p1	0.93	-0.41
Nueva Concepción	Cesm1_cam5_r1i1p1	0.44	-53.29	Miroc5_r3i1p1	0.97	3.87
Nueva Concepción	Cesm1_cam5_r2i1p1	0.96	2.74	Mpi_esm_lr_r1i1p1	0.95	1.73
Nueva Concepción	Cesm1_cam5_r3i1p1	0.95	1.71	Mpi_esm_lr_r2i1p1	0.93	-0.41
Nueva Concepción	Cmcc_cms_r1i1p1	0.94	0.89	Mpi_esm_lr_r3i1p1	0.96	2.80
Planes de Montecristo	Ccsm4_r1i1p1	1.55	66.13	Ec_earth_r2i1p1	1.59	70.50
Planes de Montecristo	Ccsm4_r2i1p1	1.69	80.81	Giss_e2_r_r1i1p1	1.51	61.69
Planes de Montecristo	Ccsm4_r3i1p1	1.53	63.84	Miroc5_r1i1p1	1.42	52.06
Planes de Montecristo	Cesm1_cam5_r1i1p1	1.56	37.05	Miroc5_r3i1p1	1.27	35.99
Planes de Montecristo	Cesm1_cam5_r2i1p1	1.59	70.57	Mpi_esm_lr_r1i1p1	1.52	62.76
Planes de Montecristo	Cesm1_cam5_r3i1p1	1.63	74.82	Mpi_esm_lr_r2i1p1	1.55	65.98
Planes de Montecristo	Cmcc_cms_r1i1p1	1.47	57.56	Mpi_esm_lr_r3i1p1	1.51	61.69
Puente Cuscatlán	Ccsm4_r1i1p1	1.54	65.20	Ec_earth_r2i1p1	1.53	64.19
Puente Cuscatlán	Ccsm4_r2i1p1	1.7	81.86	Giss_e2_r_r1i1p1	1.46	56.66
Puente Cuscatlán	Ccsm4_r3i1p1	1.31	40.28	Miroc5_r1i1p1	0.94	0.66
Puente Cuscatlán	Cesm1_cam5_r1i1p1	1.92	105.60	Miroc5_r3i1p1	1.25	33.85
Puente Cuscatlán	Cesm1_cam5_r2i1p1	1.71	83.02	Mpi_esm_lr_r1i1p1	0.83	-11.12
Puente Cuscatlán	Cesm1_cam5_r3i1p1	1.72	84.12	Mpi_esm_lr_r2i1p1	1.27	35.99
Puente Cuscatlán	Cmcc_cms_r1i1p1	1.68	64.19	Mpi_esm_lr_r3i1p1	1.47	57.41
Santa Ana-UNICAES	Ccsm4_r1i1p1	0.83	-11.45	Ec_earth_r2i1p1	1.53	64.19
Santa Ana-UNICAES	Ccsm4_r2i1p1	0.73	-21.47	Giss_e2_r_r1i1p1	1.46	56.66
Santa Ana-UNICAES	Ccsm4_r3i1p1	0.84	10.09	Miroc5_r1i1p1	0.94	0.66
Santa Ana-UNICAES	Cesm1_cam5_r1i1p1	1.06	13.28	Miroc5_r3i1p1	1.25	33.85
Santa Ana-UNICAES	Cesm1_cam5_r2i1p1	2.35	152.02	Mpi_esm_lr_r1i1p1	0.83	-11.82
Santa Ana-UNICAES	Cesm1_cam5_r3i1p1	0.8	-13.93	Mpi_esm_lr_r2i1p1	1.27	35.99
Santa Ana-UNICAES	Cmcc_cms_r1i1p1	0.87	-7.11	Mpi_esm_lr_r3i1p1	1.47	57.41

Anexo 1. Rendimientos de maíz promedio de la época de apante de 2020-2050 bajo el escenario de RCP 8.5.

Estación	Modelo	Rendimiento (Ton/ha)	Variación (%)	Modelo	Rendimiento (Ton/ha)	Variación (%)
Ahuachapán	Ccsm4_r1i1p1	0.95	-5.85	Ec_earth_r2i1p1	1.34	33.97
Ahuachapán	Ccsm4_r2i1p1	1.60	56.59	Giss_e2_r_r1i1p1	1.10	9.58
Ahuachapán	Ccsm4_r3i1p1	0.92	-8.15	Miroc5_r1i1p1	1.02	1.61
Ahuachapán	Cesm1_cam5_r1i1p1	1.28	27.28	Miroc5_r3i1p1	1.10	9.58
Ahuachapán	Cesm1_cam5_r2i1p1	1.10	10.00	Mpi_esm_lr_r1i1p1	1.14	13.56
Ahuachapán	Cesm1_cam5_r3i1p1	1.17	16.75	Mpi_esm_lr_r2i1p1	1.06	5.59
Ahuachapán	Cmcc_cms_r1i1p1	1.27	26.69	Mpi_esm_lr_r3i1p1	1.17	16.55
Cerrón Grande	Ccsm4_r1i1p1	0.84	-16.15	Ec_earth_r2i1p1	0.71	-29.35
Cerrón Grande	Ccsm4_r2i1p1	0.83	-17.76	Giss_e2_r_r1i1p1	0.77	-23.30
Cerrón Grande	Ccsm4_r3i1p1	0.82	-18.59	Miroc5_r1i1p1	1.83	82.30
Cerrón Grande	Cesm1_cam5_r1i1p1	1.50	49.53	Miroc5_r3i1p1	1.43	42.45
Cerrón Grande	Cesm1_cam5_r2i1p1	0.84	-16.56	Mpi_esm_lr_r1i1p1	1.32	31.49
Cerrón Grande	Cesm1_cam5_r3i1p1	0.84	-16.71	Mpi_esm_lr_r2i1p1	0.77	-23.30
Cerrón Grande	Cmcc_cms_r1i1p1	0.79	-21.35	Mpi_esm_lr_r3i1p1	1.26	25.52
Chorrera del Guayabo	Ccsm4_r1i1p1	0.88	-11.97	Ec_earth_r2i1p1	0.74	-26.39
Chorrera del Guayabo	Ccsm4_r2i1p1	0.58	-42.44	Giss_e2_r_r1i1p1	0.85	-15.39
Chorrera del Guayabo	Ccsm4_r3i1p1	0.87	-13.49	Miroc5_r1i1p1	1.45	44.44
Chorrera del Guayabo	Cesm1_cam5_r1i1p1	0.91	-9.24	Miroc5_r3i1p1	1.50	49.42
Chorrera del Guayabo	Cesm1_cam5_r2i1p1	0.83	-16.84	Mpi_esm_lr_r1i1p1	1.42	41.45
Chorrera del Guayabo	Cesm1_cam5_r3i1p1	0.85	-15.04	Mpi_esm_lr_r2i1p1	0.91	-9.35
Chorrera del Guayabo	Cmcc_cms_r1i1p1	1.23	22.27	Mpi_esm_lr_r3i1p1	0.62	-38.24
Chiltiupán	Ccsm4_r1i1p1	1.41	40.44	Ec_earth_r2i1p1	1.88	87.03
Chiltiupán	Ccsm4_r2i1p1	1.96	94.94	Giss_e2_r_r1i1p1	1.46	45.44
Chiltiupán	Ccsm4_r3i1p1	1.27	26.58	Miroc5_r1i1p1	1.49	48.43
Chiltiupán	Cesm1_cam5_r1i1p1	1.37	36.85	Miroc5_r3i1p1	1.20	19.54
Chiltiupán	Cesm1_cam5_r2i1p1	1.40	39.63	Mpi_esm_lr_r1i1p1	1.29	28.50
Chiltiupán	Cesm1_cam5_r3i1p1	1.53	52.64	Mpi_esm_lr_r2i1p1	1.31	30.50
Chiltiupán	Cmcc_cms_r1i1p1	1.46	42.13	Mpi_esm_lr_r3i1p1	1.91	90.26

Continuación **Anexo 9**. Rendimientos de maíz promedio de la época de apante de 2020-2050 bajo el escenario de RCP 8.5.

Estación	Modelo	Rendimiento	Variación	Modelo	Rendimiento (Ton/ha)	Variación (%)
La Hachadura	Ccsm4_r1i1p1	0.67	-33.43	Ec_earth_r2i1p1	0.91	-8.99
La Hachadura	Ccsm4_r2i1p1	1.22	21.78	Giss_e2_r_r1i1p1	0.86	-14.33
La Hachadura	Ccsm4_r3i1p1	0.91	-9.14	Miroc5_r1i1p1	0.64	-36.25
La Hachadura	Cesm1_cam5_r1i1p1	1.34	33.33	Miroc5_r3i1p1	1.1	9.58
La Hachadura	Cesm1_cam5_r2i1p1	0.91	-8.91	Mpi_esm_lr_r1i1p1	1.21	20.53
La Hachadura	Cesm1_cam5_r3i1p1	0.97	-3.55	Mpi_esm_lr_r2i1p1	1.07	6.59
La Hachadura	Cmcc_cms_r1i1p1	1.30	29.49	Mpi_esm_lr_r3i1p1	1.18	17.55
Los Naranjos	Ccsm4_r1i1p1	0.69	-31.48	Ec_earth_r2i1p1	0.62	-37.80
Los Naranjos	Ccsm4_r2i1p1	0.27	-64.14	Giss_e2_r_r1i1p1	0.66	-33.90
Los Naranjos	Ccsm4_r3i1p1	0.94	-6.08	Miroc5_r1i1p1	0.65	-35.25
Los Naranjos	Cesm1_cam5_r1i1p1	0.68	-32.71	Miroc5_r3i1p1	0.84	-16.32
Los Naranjos	Cesm1_cam5_r2i1p1	0.72	-28.32	Mpi_esm_lr_r1i1p1	0.75	-25.29
Los Naranjos	Cesm1_cam5_r3i1p1	0.77	-22.89	Mpi_esm_lr_r2i1p1	0.72	-28.28
Los Naranjos	Cmcc_cms_r1i1p1	0.99	-1.28	Mpi_esm_lr_r3i1p1	0.77	-23.30
Puente Cuscatlán	Ccsm4_r1i1p1	1.00	-0.84	Ec_earth_r2i1p1	1.39	38.96
Puente Cuscatlán	Ccsm4_r2i1p1	1.54	53.82	Giss_e2_r_r1i1p1	0.99	-1.80
Puente Cuscatlán	Ccsm4_r3i1p1	0.91	-9.35	Miroc5_r1i1p1	0.86	-14.33
Puente Cuscatlán	Cesm1_cam5_r1i1p1	0.86	-14.33	Miroc5_r3i1p1	0.99	-1.38
Puente Cuscatlán	Cesm1_cam5_r2i1p1	1.05	4.24	Mpi_esm_lr_r1i1p1	1.13	12.57
Puente Cuscatlán	Cesm1_cam5_r3i1p1	1.16	15.31	Mpi_esm_lr_r2i1p1	1.04	3.60
Puente Cuscatlán	Cmcc_cms_r1i1p1	1.01	0.85	Mpi_esm_lr_r3i1p1	1.09	8.58
Santa Ana-UNICAES	Ccsm4_r1i1p1	1.33	32.14	Ec_earth_r2i1p1	1.17	16.16
Santa Ana-UNICAES	Ccsm4_r2i1p1	1.00	-0.64	Giss_e2_r_r1i1p1	1.27	26.51
Santa Ana-UNICAES	Ccsm4_r3i1p1	1.29	28.69	Miroc5_r1i1p1	1.26	25.52
Santa Ana-UNICAES	Cesm1_cam5_r1i1p1	1.27	26.60	Miroc5_r3i1p1	1.25	24.52
Santa Ana-UNICAES	Cesm1_cam5_r2i1p1	2.58	156.58	Mpi_esm_lr_r1i1p1	1.21	20.53
Santa Ana-UNICAES	Cesm1_cam5_r3i1p1	1.26	28.57	Mpi_esm_lr_r2i1p1	1.21	20.53
Santa Ana-UNICAES	Cmcc_cms_r1i1p1	1.20	19.53	Mpi_esm_lr_r3i1p1	1.20	19.54