

CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DOCENCIAS ECONÓMICAS, A.C



EL VERANO MÁS FRÍO DEL RESTO DE NUESTRAS VIDAS: EL CAMBIO  
CLIMÁTICO Y SU EFECTO EN LA PRODUCCIÓN DE MAÍZ, UN ESTUDIO PARA  
MÉXICO DE 1985-2022

TESINA

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
LICENCIADO EN ECONOMÍA

PRESENTA

JUAN PABLO VIRTO GARCÍA

DIRECTORA DE LA TESINA

DRA. ALEJANDRA ELIZONDO CORDERO

CIUDAD DE MÉXICO

2024

## **Agradecimientos**

La elaboración del presente trabajo no pudo haber sido posible sin el asesoramiento y acompañamiento de la Dra. Alejandra Elizondo, desde un principio me abrió las puertas de su oficina, sus trayectos a sus clases y de vez en cuando, su tiempo mientras estaba en su hora de comida, gracias por guiarme y aconsejarme para no perder el camino en la investigación. Gracias también al Dr. Emmanuel Chávez pues, incluso en sus vacaciones, se hacía de un tiempo para revisar mis avances y ayudarme a construir los experimentos.

A mis padres por ser mi sostén durante estos 4 (y cachito) años de universidad, por siempre brindarme un lugar donde descansar y desear lo mejor para mi desarrollo como profesional, pero sobre todo como persona, tratando siempre de darme todas las herramientas y oportunidades posibles. A mis hermanas por siempre estar, ya fuera para hacerme una exposición (bonita y profesional) o escuchar mis mil y una quejas, por siempre hacerme reír y aguantar mis berrinches.

A Esmeralda por acompañarme en todo este proceso, escuchar notas de voz eternas, darme ideas, ánimos y sobre todo un lugar donde poder ser yo, unos brazos que siempre me recibían abiertos y unos oídos siempre dispuestos a escuchar así sea de la misma cosa una y otra vez, a veces hasta sin tener idea de qué estaba hablando. A Vico, por ser mi mejor compañero, acompañante de estudio y sobre todas las cosas, mi mejor amistad. A Mariana y Vale por hacer del CIDE y la Ciudad de México un lugar más cálido y acogedor.

A Bartolomeo y Gala por siempre recibirme con felicidad y darme ánimos para seguir adelante. A Duke, por esperarme hasta regresar de Argentina, yo sé que sigues rascando la palmera; un día, de tan alto que crezca por ti, estoy seguro de que te podremos ir a visitar.

## **Resumen**

Este trabajo busca analizar el impacto del cambio climático sobre la producción del maíz en México. Utilizo los cambios en temperatura como experimento natural y aplica una metodología de diferencias en diferencias, donde los estados que experimentaron más cambio en temperatura son el grupo de tratamiento, ya que los cambios en la temperatura son una buena forma de aproximar a los efectos del cambio climático sobre la agricultura. Los resultados sugieren que los aumentos de temperatura promedio están inversamente relacionados con la producción de maíz de temporal en México. Esto podría deberse a las condiciones ideales de la producción de maíz como temperatura máxima o la calidad del suelo de siembra. Estos resultados resaltan la importancia de implementar medidas de mitigación y adaptación al cambio climático en la producción de maíz temporal en México.

## Índice

<b>1. Introducción</b> .....	1
1.1 Motivación.....	1
1.2 El cambio climático en la agricultura.....	2
1.3 El cambio climático en el maíz.....	3
1.4 Elección del cultivo .....	5
<b>2. Revisión de literatura</b> .....	7
2.1 Panorama general.....	7
2.2 Efectos del cambio climático en el maíz.....	7
2.3 Adaptación al cambio climático .....	10
2.4 Implicaciones generales.....	11
<b>3. Metodología</b> .....	13
3.1 Datos .....	13
3.2 Regresiones efectos fijos .....	14
3.3 Cambios en las variables climatológicas .....	16
3.4 Diferencias en diferencias .....	17
3.5 Elección experimento .....	18
<b>4. Resultados</b> .....	20
4.1 Cambios porcentuales de temperatura .....	20
4.2 Cambios totales de temperatura .....	23
4.3 Temporal vs riego .....	25
4.4 Resultados e implicaciones generales .....	26
<b>5. Discusión</b> .....	29
5.1 Discusión de resultados .....	29
5.2 Implicaciones .....	30
5.3 Limitaciones .....	30
5.4 Conclusión.....	31
<b>6. Bibliografía</b> .....	33

## **Lista de tablas**

1. Regresiones de efectos fijos ..... 15
2. Diferencias en diferencias ..... 23

## **Lista de figuras**

1.	Lluvia promedio nivel nacional dividida por semestres 1985-2022 .....	16
2.	Temperatura promedio nivel nacional 1985-2022 .....	17
3.	Temperatura control vs tratamiento Exp.1 .....	21
4.	Producción maíz temporal control vs tratamiento Exp.1 .....	22
5.	Temperatura control vs tratamiento Exp.2 .....	24
6.	Producción maíz temporal control vs tratamiento Exp.2 .....	25
7.	Producción maíz temporal vs riego .....	26

## **1.- Introducción**

### **1.1.- Motivación**

“Muchos años después, frente al pelotón de fusilamiento, el coronel Aureliano Buendía había de recordar aquella tarde remota en que su padre lo llevo a conocer el hielo.”<sup>1</sup> Incluso la literatura de fantasía tiene elementos tan simples como las montañas, el sol o la luna. Todos estos elementos tienen un toque de perpetuidad pues cada vez que uno vuelve a esa página, el bloque de hielo sigue ahí. No así en el mundo real, mucho menos un bloque de hielo. El hielo - y su derretimiento- es el gran representante del problema que busca enfrentar el presente trabajo: el cambio climático. El cambio climático tiene bastantes formas de afectar el mundo como lo conocemos desde el deshielo, los cambios a los patrones de lluvia o el aumento de las temperaturas globales, estos efectos generan impactos sobre varias actividades productivas, como la agricultura. Este trabajo se concentrará en el efecto que tiene el cambio climático en la agricultura y específicamente en la producción de maíz en México. Hay una responsabilidad compartida por la forma en que vivimos, consumimos y destruimos el mundo, para asumir esa responsabilidad, primero hay que reconocer y saber qué es lo que estamos haciendo.

La presente tesina tiene como objetivo buscar causalidad en el efecto que tiene el cambio climático, a través de cambios en la temperatura promedio, en la producción de maíz en México. Específicamente, la pregunta de investigación es ¿cómo han afectado los cambios de temperatura a la producción de maíz en México para el periodo de 1985-2022? Así, dado que busco encontrar el efecto del cambio climático, el cambio en la temperatura es una forma de tomar este efecto en la producción del maíz.

Según la ONU, el cambio climático es el cambio a largo plazo de las temperaturas y los patrones climáticos desde el siglo XIX, influenciado en gran parte por las actividades humanas que han sido su principal motor.<sup>2</sup> Esta primera definición es sumamente importante ya que no solo describe en sí qué es el cambio climático, sino que también atribuye gran parte de la responsabilidad de estos cambios en las variables climatológicas a la actividad humana.

---

<sup>1</sup> Gabriel García Márquez, Cien años de soledad (Buenos Aires: Editorial Sudamericana, 1967), 1.

<sup>2</sup> Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, Naciones Unidas, 1992, FCCC/INFORMAL/84.

Agregando a la definición anterior, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), define al cambio climático como “todo cambio significativo en el sistema climático del planeta, que permanece por décadas o más tiempo” acentuando que no se trata de un evento específico, sino que más bien es una serie de factores que se acumulan con el paso del tiempo.<sup>3</sup> Vale la pena también repasar la definición de la FAO por su incidencia dentro de la agricultura y sus conexiones con problemáticas sociales. Esta exhibe que el cambio climático es “la variación en el tiempo del clima mundial de la tierra o de los climas regionales y puede ser causado tanto por fuerzas naturales como por las actividades humanas”.<sup>4</sup>

Uno de los sectores que más se ven afectados por su dependencia de las variables climatológicas, aunque no limitado a, es el sector agrícola. La variable climatológica que más afecta a la agricultura y, para lo que concierne a este trabajo, la más importante, es la temperatura. La forma en la que afecta es a través de aumentos y variación de las temperaturas por la concentración de los gases de efecto invernadero en la atmósfera, gases como el dióxido de carbono, vapor de agua, metano y el ozono (Barra et al, 1997).

Una vez en la atmósfera, los gases absorben y emiten radiación de vuelta a la tierra en forma de luz infrarroja impidiendo la salida de calor, en forma de rayos de luz no visibles, hacia el espacio (IDEAM, 2007). Este proceso se conoce como efecto invernadero y, si bien es un proceso natural para la vida en la tierra, la actividad humana ha provocado un incremento del efecto invernadero provocando que las temperaturas comiencen a subir más de lo normal llevando a un calentamiento global (Caballero et al, 2007) afectando directamente al ciclo del agua al acelerar el proceso de evaporación de los cuerpos de agua, lo que termina provocando una mayor variabilidad de lluvia (FAO, 2015).

### 1.2.- El cambio climático en la agricultura

En primera instancia, el cambio climático afectará a la agricultura a través de cambios directos de temperatura, ya que los cultivos se pueden ver afectados en cuanto a rendimiento y calidad (Povis et al, 2021). Mientras que un aumento en los mínimos de temperatura puede tener

---

<sup>3</sup> Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), "¿Qué es el cambio climático?," Gobierno de México, acceso 7 de junio de 2024, <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/que-es-el-cambio-climatico-134038>.

<sup>4</sup> Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), *Cambio Climático y Seguridad Alimentaria: Un Documento Marco* (Roma: FAO, 2007), 4.

un efecto positivo para los cultivos, un aumento en la temperatura máxima puede presentar el efecto contrario, siendo lo suficientemente grande como para que el aumento de la temperatura mínima no sea suficiente para compensar el daño del aumento en la temperatura máxima (Ghosh, 2019).

Otro efecto negativo que tiene el aumento de las temperaturas es que no solo se trata de la temperatura del aire, sino que también debemos tomar en cuenta los posibles aumentos de la temperatura del suelo. Un suelo más caliente provoca un ecosistema positivo para la proliferación de plagas de insectos y enfermedades que dañan a los cultivos (Casco et al, 2016). Esto no les permite a los agricultores llevar un control biológico correcto de las plagas lo cual incide directamente en la sostenibilidad de los suelos al desgastarlos a un mayor ritmo reduciendo los rendimientos de estos (Casco et al, 2016).

Estas afectaciones a la temperatura influyen en la lluvia al reducirla en cantidad, distribución y días efectivos de lluvia (Casco et al, 2016). Esto porque el aumento de temperaturas afecta el ciclo del agua lo que implica que aquellas plantaciones que dependen mayormente de la lluvia verán sus rendimientos afectados negativamente y tendrán que buscar alternativas.<sup>5</sup> Esto es relevante para el caso de México ya que el 76% de la superficie agrícola en México es de cultivos de tipo temporal (INEGI, 2022).

Afectar el ciclo del agua no solo trae consigo aumentos o disminuciones en la cantidad de lluvia, sino que también habrá un componente de variabilidad extra (Belford et al, 2023; Ghosh, 2019; Povich et al, 2021). Esto llevará a los productores a tener un componente extra de incertidumbre en sus cultivos, provocando cambios en el tiempo de los cultivos o incluso cambiar el cultivo sembrado a uno que crean más resistente.

### 1.3.- El cambio climático en el maíz

La temperatura en el maíz es clave para el proceso de producción, en una situación ideal, esta debería estar entre los 20 y 30 grados (Arce, 2017) cualquier otra temperatura podría presentar complicaciones. Una de esas complicaciones puede ser la proliferación de la maleza y plagas en los sembradíos causados por las altas temperaturas (Munishi et al, 2013). Otra

---

<sup>5</sup> Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), *Climate Change and Food Security: Risks and Responses* (Roma: FAO, 2015), 6.

complicación tiene que ver con un aumento de la evapotranspiración que terminaría por quitarle humedad a los suelos afectando, de nueva cuenta, la etapa de floración del cultivo (Ureta et al, 2020).

Un aspecto importante es que el sentido de las afectaciones de los aumentos de temperatura depende en gran medida de la altitud, aquellos por encima de los 2000 msnm (Conde et al, 2000) pueden tener beneficios de los aumentos de temperatura pues aumentaría su temperatura mínima lo que sería beneficioso para la producción del maíz (Ruminta et al, 2024; Granados et al, 2013). Mientras que aquellas regiones en altitudes bajas y medias son las que pueden sufrir más de los aumentos de temperatura (Tesfaye et al, 2015).

La temperatura también afecta a la precipitación (al afectar el ciclo del agua) y con ello a la producción del maíz: un exceso de lluvia en las primeras etapas de maduración del cultivo puede llegar a afectar la floración provocando disminuciones en la producción (Granados et al, 2013). Los rendimientos del suelo también pueden disminuir ya que un aumento de alrededor de 20% de la precipitación cambia y lava los nutrientes que se encuentran en el suelo (Conde et al, 2000). En contraste, si se presentan condiciones extremas como sequías, el maíz presenta modificaciones en sus procesos biológicos que afecta negativamente los cultivos (Granados et al, 2013). Las sequías pueden llegar a reducir la producción en hasta 15% (Muhadjir, 2018).

Así, las variaciones en temperatura y lluvia tienen un impacto en la producción del maíz. La fase más crítica del proceso de producción del maíz es a la de floración y es una de las fases en las que los cambios de temperatura y precipitación pueden llegar a ser perjudiciales para la producción del maíz (granados et al, 2013; Ruminta et al, 2024; Ureta et al, 2020). Ahora, si bien las consecuencias del cambio climático en el maíz suelen estar relacionadas a las condiciones climatológicas iniciales, para el caso de México, una investigación del INECC estudió tres localidades con diferentes climas iniciales a través de modelos de proyecciones y simulaciones y encontró que, en las tres localidades, el maíz presentará reducciones en sus rendimientos esperados.<sup>6</sup>

---

<sup>6</sup> INECC

#### 1.4.- Elección del cultivo

La elección del cultivo radica en que el maíz es un elemento importante, tanto para quien lo produce como quien lo consume, en la vida diaria de los mexicanos. Esto se ve reflejado con las más de 700 formas de usar el maíz, componiendo un elemento fundamental en la tradición de la cocina mexicana, así como un elemento nutritivo.<sup>7</sup> Por ejemplo, en una revisión de literatura sobre la composición de la dieta en México realizada por Selene Valerino, con un total de 245 textos revisados, el alimento más citado fue el maíz con más un 50% de prevalencia.<sup>8</sup> En promedio, un mexicano consume aproximadamente un 50% de su ingesta diaria en productos a base de maíz (Fernández et al, 2013), aportando tanto calorías como proteínas, esto destaca la importancia que tiene el maíz en la cocina mexicana.<sup>9</sup> También podemos ver esta importancia para la población mexicana en un estudio realizado a una población de mujeres matlatzincas donde los resultados demuestran que el maíz es un elemento importante en la vida de estas mujeres aportándoles energía para realizar sus tareas diarias a relativamente bajos costos.<sup>10</sup>

Su importancia en el territorio mexicano es tal que el promedio anual de producción de maíz en México es de 27 millones de toneladas con más de 7 millones y medias de hectáreas aptas para la siembra, siendo el séptimo productor a nivel mundial (SADER, 2023). Es el cultivo con más superficie sembrada con más de 5 millones de hectáreas de diferencia con el segundo con más superficie que es el frijol (INEGI, 2022). En cuanto a la producción total también está en primer lugar con 25,402 millones de toneladas contra la avena que es la segunda más producida con 6,300 toneladas (INEGI, 2022).

El presente estudio contribuye al conocimiento sobre el impacto que ha tenido el cambio climático, traducido en cambios de temperatura, en la producción del maíz temporal en México. A través del método de diferencias en diferencias creé un modelo que busca el efecto causal de la temperatura sobre la producción de maíz. El resultado es que la temperatura sí tiene un

---

<sup>7</sup> Rocío Fernández Suárez, Luis A. Morales Chávez, y Amanda Gálvez Mariscal, "Importancia de los maíces nativos de México en la dieta nacional. Una revisión indispensable," *Revista Fitotecnica Mexicana* 36, suplemento 3-A (2013): 275-283.

<sup>8</sup> Selene Valerino-Perea et al., "Definition of the Traditional Mexican Diet and Its Role in Health: A Systematic Review," *Nutrients* 11, no. 11 (2019): 2803, <https://doi.org/10.3390/nu11112803>

<sup>9</sup> Rocío Fernández Suárez, Luis A. Morales Chávez, y Amanda Gálvez Mariscal, "Importancia de los maíces nativos de México en la dieta nacional. Una revisión indispensable," *Revista Fitotecnica Mexicana* 36, suplemento 3-A (2013): 275-283.

<sup>10</sup> Jacqueline Hernández Ramírez, *Componentes de la dieta y su relación con el consumo de maíz en mujeres Matlatzincas* (Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma del Estado de México, 2018).

impacto significativo sobre la producción de maíz, este impacto es negativo al diferenciar el efecto del cambio climático y comparo aquellos estados que han estado más estado contra los que menos han cambiado su temperatura.

La estructura de la tesina es la siguiente: esta primera sección que enmarca, motiva y justifica el problema; la revisión de literatura que realicé de algunos de los trabajos hechos en torno al maíz y su relación con el cambio climático; la metodología donde expongo los datos y métodos para crear el modelo donde se prueba la relación causal; la sección de resultados; y la sección de discusión donde reviso las implicaciones del trabajo y las conclusiones que salen del mismo.

## **2.- Revisión de literatura**

### **2.1.- Panorama general**

El estudio del cambio climático y el efecto que tiene sobre la producción de maíz es un fenómeno que se ha estudiado en todo el mundo por parte de actores gubernamentales y privados. En esta revisión de literatura identifiqué dos líneas de investigación principales en las que está desarrollada casi toda la discusión del tema. La primera es cómo y cuáles son los efectos que tiene el cambio climático a través de variables como temperatura, lluvia, sequías, huracanes, suelo y más en la producción de maíz ya sea por cosecha total, rendimientos o calidad del cultivo. La segunda observa acciones de adaptación y mitigación de los productores y sus gobiernos ante los efectos del cambio climático, la mayoría son estudios realizados a partir de encuestas.

### **2.2.- Efectos del cambio climático en el maíz**

La parte principal de la discusión y donde más trabajo de fondo hay es en la de los efectos, consecuencias y vías de afectación que tiene el cambio climático sobre la producción de maíz. Si bien todos estos estudios buscan los efectos del cambio climático en la producción del maíz, hay dos formas en lo que lo hacen. El primer camino por el que buscan los efectos, está compuesto de estudios, que, además de analizar la situación actual, trabajan con modelos de proyecciones y predictores para el corto (Munishi et al, 2015; De Luque et al, 2016), medio (Tsfaye et al, 2015) y largo plazo (Porrúa, 2018). Estos modelos toman las condiciones iniciales del contexto en el que se vaya a realizar el estudio y a partir de ahí hacen predicciones. En el segundo camino son los estudios que le dan todo el peso a los efectos actuales y no hacen proyecciones, aquí es donde hay menos trabajo, relativo al otro tipo de estudios.

Estos últimos trabajos miden el efecto del cambio climático en la producción a través de estudios de eventos, por ejemplo, son varios los estudios que toman eventos climatológicos extremos como huracanes o incluso el NIÑO, que sucede cuando las aguas del océano pacífico comienzan a presentar aumentos en su temperatura media y puede acarrear problemas como sequías o lluvias fuerte y aumentos en la temperatura global (ICAyCC), como aproximaciones a lo que podríamos esperar o vemos del cambio climático. Los efectos encontrados por estos estudios son que los eventos en conjunto con la desinformación y poca capacidad de adaptación

de la población resultan en pérdidas de producción de maíz en los campos de producción como en el caso de Ghana donde una de las áreas agrícolas más importantes del país reportó que más del 50% de productores perdieron toda su cosecha de maíz (Owusu et al, 2019). Encontraron que el NIÑO reduce las lluvias en cuanto a cantidad y distribución en la zona transicional de Ghana, y también aumentó la variabilidad de las lluvias. Esto provocó que cayeran los rendimientos del maíz, y que los precios de maíz subieran de 7 a 10 dólares (Owusu et al, 2019). Otro estudio, realizado en Tanzania, encontró que los cambios en los patrones de temperatura estuvieron relacionados negativamente con la producción del maíz provocando bajas de más del 50% en dos años (2003 y 2009) de una década estudiada (Munishi et al, 2015).

Los otros estudios son los que agregan proyecciones en cuanto a los efectos que puede traer consigo el cambio climático a la producción de maíz. Estos estudios trabajan con diferentes tipos de modelos, por ejemplo, De Luque, a través de datos de producción agrícola, datos demográficos, climatológicos y de suelo, crea un modelo de equilibrio parcial en el que hace proyecciones de la productividad agrícola y lo junta con proyecciones de comercio internacional para encontrar el efecto que tendrá el cambio climático la producción del cultivo y sus precios (De Luque et al, 2016). También hay modelos que incorporan información biológica del maíz en cada etapa de maduración para buscar los efectos de las condiciones climáticas sobre la producción del maíz (Granados et al, 2013).

El tipo de modelo más repetido en la revisión fueron los modelos que crean predicciones para todas las variables con las que trabajan. Algunos de estos modelos más relevantes y repetidos son CLIM-RISK que evalúa los efectos del cambio climático en la producción del cultivo a elección, esto lo hace a través de proyecciones que incluyen olas de calor, inundaciones y más variables climáticas que pueden afectar a la producción del maíz (Porrúa, 2018). Otro modelo que se ocupa en la literatura es el modelo desarrollado por la FAO AquaCrop (Noriega et al, 2021), el modelo simula la productividad de los cultivos con base a la disponibilidad del agua, esto lo hace con variables climáticas como la lluvia o temperatura, así como factores agrícolas como el riego o la fertilización (FAO, 2021). Por último, también tenemos el modelo CERES que utiliza Tesfaye, este es un modelo que además de tomar las variables climáticas más comunes como temperatura, lluvia y suelo, también ocupa variables como los niveles de gases

de efecto invernadero para simular el rendimiento de los cultivos en el día a día (Tesfaye et al, 2015; Soler et al, 2007).

Estos modelos usan varios indicadores climáticos como lo son temperatura, lluvia, calidad del suelo, niveles de gases de efecto invernadero y periodos máximos y mínimos de precipitación entre muchos más (Munishi et al, 2015; Tesfaye et al, 2015; De Luque et al, 2016; Ureta et al, 2020). Estos indicadores también crean interacciones de estas variables con factores económicos y demográficos como el nivel de crecimiento del país, crecimiento de población, números de hectáreas destinadas a la producción entre otros para calibrar el modelo de acuerdo con los objetivos de la investigación (Noriega et al, 2021). Así, los datos y métodos que utilizan este tipo de modelos son variados y en algunos casos también utilizan datos de encuestas propias para compensar por la falta información de parte del gobierno.

Si bien los modelos pueden ser distintos entre sí, tienen una similitud que es que usan diferentes escenarios de mitigación y adaptación para combinar las variables de interés y así crear sus propias predicciones (Porrúa, 2018; Tesfaye et al, 2015). Estos modelos son relevantes para predecir o simular que pasará con el maíz dada una amplia gama de factores, pero no cuentan con un contrafactual explícito pues si bien basan sus proyecciones en diferentes escenarios climáticos, no existe un grupo de control que permita una comparación directa con qué hubiera pasado si los factores que miden no hubieran cambiado, no hay forma de saber si otras variables por las que no están controlando tienen un efecto en el resultado encontrado.

Estos son modelos de simulación que reproducen posibles escenarios para el cultivo del maíz, los escenarios están contruidos por cómo puede afectar el cambio climático a los cultivos condicionado al actuar humano. Algunos de los hallazgos son que, por ejemplo, incluso a nivel país, los efectos sobre la producción del maíz serán heterogéneos de acuerdo con variables geográficas y climáticas como la altitud de la siembra y las condiciones de temperatura y lluvia iniciales (Tesfaye et al, 2015, De Luque et al, 2016). Otro factor es que el maíz de cultivo temporal será mucho más afectado en comparación con el maíz de riego dado que este último está mucho menos expuesto a cambios en la temperatura y lluvia (Granados et al, 2013; Ahumada et al, 2014; Conde et al, 2000). Esto es relevante para los países y regiones, sobre todo en vías de desarrollo, que cuentan con grandes producciones de maíz temporal pues tendrán más retos para adaptarse a las nuevas exigencias climáticas (Fréjuis et al, 2024). También hay

estudios que miden el efecto de aumento de las temperaturas mínimas concluyen que un aumento en la temperatura mínima de 2.2 grados centígrados en la zona estudiada aleja el peligro de helada al cultivo lo que aumentaría su producción (Granados et al, 2013) esto efecto positivo se puede ver contrarrestado por los aumentos en los máximos de temperatura (Ghosh, 2019).

Las conclusiones de estos trabajos van en torno a que el cambio climático afectará negativamente a la producción del maíz entre más pase el tiempo como indica el trabajo de Francisco Porrúa donde a partir del modelo CLIM-RISK calcula que el maíz tendrá pérdidas de rendimiento y estas irán empeorando exponencialmente hacia el final del siglo dado que, de los 23 estados que tienen rendimiento de más de una tonelada por hectárea, solo quedaran 11 para finales de siglo (Porrúa, 2018). La literatura señala que los principales agentes, causantes de la pérdida de rendimientos, serán el aumento de eventos extremos, la variabilidad de cuestiones esenciales para la siembra como la temperatura y la lluvia, el aumento gradual de estas dos y el detrimento de los suelos en donde es cultivado el maíz (De Luque et al, 2016; Munishi et al, 2015; Ureta et al, 2020; Owusu et al, 2019). Los estudios también señalan que estas complicaciones traerán consigo atrasar o limitar los avances de la seguridad alimentaria en relación con el maíz para la región de América Latina y el Caribe al afectar la cantidad de producción, los rendimientos por hectárea, reducir el área prolífera para la cosecha, e incluso provocar una disminución de los nutrientes del maíz a raíz de afectaciones en el ciclo de floración y maduración (De Luque et al, 2016). Esta misma afectación también será vista en varios países de África de baja y media latitud. (Tsfaye et al, 2015)

Para el caso de México, los hallazgos de la literatura exponen que no solo será afectado el maíz pues más cultivos como el sorgo, el trigo y el arroz, también sufrirán de disminuciones en sus rendimientos a causa del cambio climático (Porrúa, 2018). Al igual que en el resto del mundo, las pérdidas no se distribuirán de manera uniforme, Michoacán, Jalisco o Chiapas, que son algunos de los estados más agrícolas, perderán alrededor de 30-40% de su rendimiento para finales de siglo (Porrúa, 2018). También señala que el factor socioeconómico será afectado pues más de la mitad de la población de estos estados trabajan en el sector agrícola.

### 2.3.- Adaptación al cambio climático

En la segunda línea de investigación que pude identificar, la mayoría de los estudios usan datos de varias fuentes como indicadores de origen gubernamental o de organizaciones no

gubernamentales como el IPCC o la FAO, así como encuestas realizadas a los productores, en su mayoría pequeños, para realizar los análisis. Estas encuestas crean su muestra a partir de la asignación aleatoria en diferentes niveles como estado, villa y productores para medir la percepción de los productores sobre sus cosechas y el cambio climático (Fréjuis, 2024 et al; Mubalama et al, 2024; Munguía et al,2015). También capturan indicadores socioeconómicos como ingreso, capital inicial y características de los hogares para entender de dónde vienen las percepciones y captar posibles diferencias entre grupos de interés (Galindo et al, 2015; Bedeke et al, 2019; Orozco et al, 2007).

La literatura revisada señala que las principales problemáticas a las que se tendrán que adaptar los productores será a las disminuciones en los rendimientos potenciales del maíz hasta pérdidas en los ingresos de los productores condicionados al tipo de cultivo (Galindo et al, 2015). También dan evidencia que el cambio climático provoca que los agricultores cambien las fechas de sembrado y cultivo y, que esta práctica de cambios en los tiempos de producción lleva y llevará a pérdidas de eficiencia de los sembradíos, orillándolos a una menor producción (Fréjuis, 2024).

Las adaptaciones que manejan en la literatura van desde un mejor uso de los fertilizantes para fortalecer los cultivos ante plagas o enfermedades causadas por un aumento en las temperaturas, cambios parciales a cultivos más resistentes contra los cambios graduales e impredecibles, mejorar la selección de granos para tener granos más resilientes, hasta programas de apoyo como información a los pequeños productores acerca del cambio climático y los efectos que puede llegar a tener en las diferentes etapas de producción (Galindo et al, 2015; Fréjuis et al, 2024). Identifican también que, para estos pequeños productores, los que más medidas preventivas han estado o están dispuestos a tomar son aquellos con un nivel de capital mayor, más tierra y en general una mejor educación que aquellos con un nivel socioeconómico más bajo (Mubalama et al, 2024).

#### 2.4.- Implicaciones generales

Las implicaciones de la literatura son que las medidas adaptativas y preventivas deben ser tomadas cada vez más en cuenta por los gobiernos para apoyar al sector agrícola (Baum et al, 2020) y prevenir o minorizar los efectos negativos del cambio climático que encuentran en los efectos a largo plazo como la disminución de los rendimientos del maíz (Porrúa, 2018) o el

efecto que tienen los aumentos máximos de temperatura en la producción actual (Ghosh, 2019; Munishi et al, 2015). Estas medidas deben apuntar a extender la capacidad agrícola de los individuos dándoles de educación y entrenamiento para enfrentar los nuevos desafíos causados por el cambio climático (Bedeke et al, 2019)

Resumiendo, la literatura revisada encuentra una relación negativa entre el cambio climático y la producción del maíz. Casi todos los estudios previos de México que relacionan el maíz y el cambio climático son proyecciones para 2030, 2050 y años posteriores. Si bien hay trabajos que analizan el problema en la actualidad, estudian estados específicos como el Estado de México o Michoacán, lo que, si bien permite encontrar efectos para regiones específicas, no alcanza a analizar el panorama general de México como un todo. Cabe mencionar que los estudios casi no cuentan con métodos que permitan encontrar el efecto causal ya que no construyen un contrafactual que permita comparar entre grupos en lo que sería la ausencia del cambio climático. Cuentan con variables que no están siempre disponibles como las características del suelo o los datos fisiológicos del cultivo por lo que no son fácilmente replicables para años pasados y posteriores, así como dependen en gran medida de que estos datos sigan siendo recabados por parte del gobierno, instituciones no gubernamentales o dedicar buena parte de la investigación a alzarlos.

Es en ese espacio donde buscar entrar este trabajo al añadir un factor de causalidad a los resultados de los trabajos previos para la todos los estados de México. A través de datos gubernamentales y de fácil acceso, el estudio muestra formas de comparar escenarios donde el cambio climático está presente y no, para así buscar un efecto causal, a través de un contrafactual, de cómo ya ha estado afectando el cambio climático a la producción de maíz en México.

### **3.- Metodología**

#### **3.1.- Datos**

Los datos para realizar los ejercicios de este trabajo vienen todos de bases gubernamentales. Contamos con indicadores de temperatura y lluvia promedio para los 32 estados de la república que fueron extraídos de las bases de datos de la Comisión Nacional del Agua y el Servicio Meteorológico Nacional. La temperatura está medida en grados centígrados y la lluvia en milímetros de lluvia. Dividí estas bases de datos por semestres “primavera-verano” y “otoño-invierno” de acuerdo con los meses correspondientes para controlar por la estacionalidad del cultivo. Estos datos son desde 1985 hasta 2022 que fueron las últimas actualizaciones al momento de realizar este estudio. La elección de estas dos variables tuvo que ver con la disponibilidad de los datos.

La variable dependiente, que es la producción de maíz, consta con datos tanto para la producción del maíz temporal -que es aquella que depende del comportamiento de la lluvia y la captación del agua (SADER, 2016)- como de riego, que es el sistema por el cual el agua es suministrada de forma manual de acuerdo con las necesidades del cultivo (SIAP, 2018). Son datos para el periodo de 1985 a 2022 para cada estado de la República y ya venían divididos por semestre desde la misma fuente. Los valores vienen por toneladas de maíz cosechadas. Fueron recabados del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) pero tienen la desventaja de que algunos valores para el maíz vienen como “0” o directamente incompletos y sin valor para algunos estados, en ciertos momentos del tiempo. Sin embargo, al momento de filtrar por aquellos que no cumplían con las condiciones necesarias para el ejercicio, siendo aquellos que no contaban con por lo menos más del 85% de las observaciones, no representaron alguna complicación mayor ni a nivel estado ni nacional pues hice la suposición de que en realidad estos valores no están así por eventos climatológicos extremos como sequías o huracanes ya que en las bases de datos de la SEMARAT hay una columna que captura por “siniestrado”, por lo que la mayoría de estas omisiones debieron ser aleatorias o de carácter administrativo. Los estados que no contaban con las observaciones completas para ninguno de los tipos de maíz fueron eliminados, aquellos que quedaron con las observaciones para solo un

tipo de maíz fueron filtrados al hacer las regresiones para no perder datos ni sesgar las estimaciones.<sup>11</sup>

Con estos datos, realicé un panel a nivel estado- semestre con la variable dependiente que es el maíz -tanto temporal como de riego- y con las dos principales variables independientes que capturan el efecto del cambio climático: lluvia y temperatura. También añadí dos variables de control: el PIB del sector primario a nivel estatal para controlar por factores de tecnología e infraestructura; y la población estatal para controlar por cuestiones demográficas, ambas fueron recabadas del INEGI. Después, convertí todos los valores del panel a logaritmo para tener una mejor interpretación de los resultados al momento de realizar los ejercicios econométricos. El panel cuenta con un total de 2096 observaciones, y 1704 o 1947 después de filtrar por estados incompletos y ceros dependiendo de si el tipo de maíz es temporal o de riego respectivamente.

### 3.2.- Regresiones efectos fijos

Una vez construidos ambos paneles el primer acercamiento fue realizar regresiones de efectos fijos. La regresión fue la siguiente

$$\text{Producción maíz}_{it} = \alpha_i + \beta_1 \text{temperatura}_{it} + \beta_2 \text{lluvia}_{it} + \beta_3 \text{controles}_{it} + \epsilon_{it} \text{ (Ec.1)}$$

Donde *producción maíz* es la variable dependiente que puede tomar los valores de maíz temporal o de riego dependiendo la ecuación a estimar.  $\alpha$  son los efectos fijos a nivel estado,  $\beta_1$  y  $\beta_2$  son los valores de los estimadores para temperatura promedio y lluvia promedio, mismas que uso como proxies para cambio climático.  $\beta_3$  el estimador del vector de controles económicos y sociodemográficos.  $\epsilon$  es el término de error.

La tabla 1 contiene los coeficientes de las diferentes regresiones del estimador within de efectos fijos. Las columnas (1) y (2) representan las primeras dos regresiones sin controles, tanto para el maíz de riego como temporal desde 1985, los indicadores de temperatura son significativos al 1% para ambos tipos de maíz mientras que la lluvia solo es significativa para el maíz de temporal. Para ambos tipos de maíz las dos variables climáticas se asocian positivamente con la variable dependiente, si la temperatura aumenta 1 grado, la producción del

---

<sup>11</sup> Los estados eliminados fueron: Aguascalientes Otoño-Invierno, Baja California Sur temporal, chihuahua Otoño-invierno riego, CDMX-Tabasco riego, Colima-Durango-Guanajuato-Morelos-Querétaro-Sonora-Zacatecas Otoño-Invierno temporal.

maíz temporal sube 7.3% y de riego 6%. Si la lluvia aumenta un milímetro, la producción del maíz temporal lo hace en 1.5%. Cabe resaltar que los valores de ambos estimadores son más grandes para el maíz de temporal, como podríamos esperar ya que el maíz de riego es cultivado en un ambiente más controlado. Esto también reforzado al ver el valor de la R cuadrada para el modelo sin controles, donde para el maíz de riego explica el 22.8% mientras que para el modelo de maíz temporal esta es de 57.1%. Dado que la R cuadrada es una medida estadística que nos dice que tan bien se ajusta el modelo construido para nuestros datos, es decir, qué tanta variabilidad de la variable dependiente es explicada por las variables independientes, el modelo del maíz temporal se ajusta mejor.

**Tabla 1: Regresiones de efectos fijos**

	SIN CONTROLES		CON CONTROLES	
	(1)	(2)	(3)	(4)
	Temporal	Riego	Temporal	Riego
<b>TEMPERATURA</b>	<b>7.335***</b> (1.886)	<b>6.099***</b> (2.340)	<b>7.525 ***</b> (1.616)	<b>5.797**</b> (2.433)
<b>LLUVIA</b>	<b>1.509***</b> (0.265)	<b>0.261</b> (0.249)	<b>1.487***</b> (.268)	<b>0.284</b> (0.251)
<b>PIB</b>			<b>0.428</b> (0.490)	<b>0.330</b> (440)
<b>POBLACIÓN</b>			<b>-0.851</b> (0.765)	<b>0.382</b> (0.760)
<b>N</b>	1704	1947	1704	1947
<b>R2</b>	.571	.228	.573	.234
<b>F STATISTIC</b>	1,1000.629***	282.753***	560.208***	145.679***

**Nota:** \*p <.01; \*\*p<.05; \*\*\*p<.01

Valores de los estimadores de las regresiones de efectos fijos desde 1985 con y sin controles, errores estándar en cluster nivel estado. Los datos para realizar las regresiones fueron recabados de la SIAP para los datos de producción de maíz, la CONAGUA para TEMPERATURA y LLUVIA y el INEGI para PIB y POBLACIÓN.

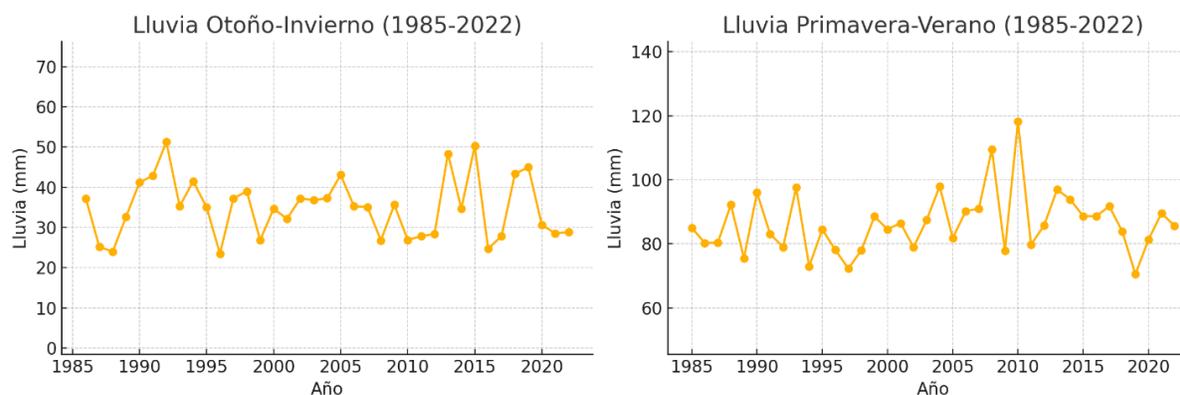
Las columnas (3) y (4) de la tabla 1 son las mismas regresiones que las anteriores con la diferencia de que cuenta con los controles mencionados anteriormente para reducir el sesgo de variable omitida. Los coeficientes de estas regresiones controlan por cuestiones

sociodemográficas de los trabajadores como la población total del estado, así como por el PIB del sector primario que es un proxy para cambio tecnológico. De nueva cuenta, los coeficientes de temperatura son significativos para ambos tipos de cultivo de maíz. Si la temperatura sube en un grado, la producción de maíz temporal sube en un 7.5% y la de riego sube 5.7%. Cuando la lluvia sube 1 milímetro, la producción de maíz temporal sube 1.4%. Ambas variables se asocian positivamente con la producción de maíz. Otra vez, el modelo explica mejor la producción del maíz de temporal, desde una mayor R cuadrada de un 57.3% contra 23.4% hasta coeficientes más grandes en las variables climáticas.

### 3.3.- Cambios en las variables climatológicas

Dados estos primeros resultados, vemos evidencia de que la producción del maíz en México está ligada a los cambios tanto de temperatura como de lluvia. Sin embargo, las estimaciones de efectos fijos no nos permiten detectar un efecto causal pues no tenemos un contrafactual definido con el que podamos comparar diferentes escenarios, esto implica que no sabemos qué le hubiera pasado a la variable dependiente con respecto a las independientes en ausencia del tratamiento. Además, si hay variables omitidas en nuestro modelo que están correlacionadas con las variables explicativas, tenemos el problema de sesgo de variable omitida. Esta sospecha es la que motiva a realizar los siguientes ejercicios econométricos para analizar si los cambios tanto de temperatura como de lluvia en los últimos años han tenido algún efecto en la producción de maíz en México. La Figura 1 representa los cambios en lluvia promedio que ha tenido México en los últimos 37 años.

Figura 1: Lluvia promedio nivel nacional dividida por semestres 1985-2022

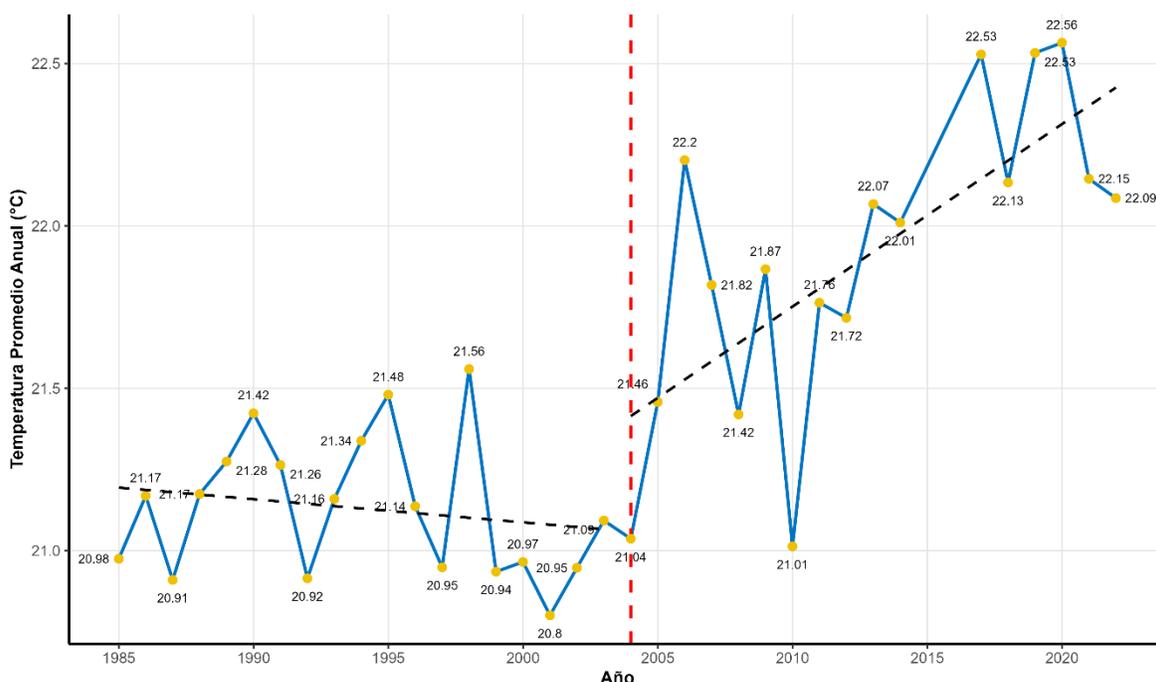


*Lluvia promedio (en milímetros) a nivel nacional dividida por semestres desde 1985. Los datos fueron recabados de la CONAGUA.*

En cuanto respecta a la lluvia, si bien hay picos y valles pronunciados, no hay tendencia clara que indique que, en promedio, haya subido o bajado drásticamente en el periodo estudiado. Lo que busca este trabajo es encontrar evidencia causal del cambio climático sobre la producción del maíz. La ausencia de evidencia de cambios importante en la precipitación, indica que la lluvia no es esa fuente de ese efecto causal que busca el estudio.

La situación es diferente para la temperatura, en primera instancia, no hay estado que no haya subido su temperatura total y porcentual para el periodo estudiado. La Figura 2 para la temperatura a nivel nacional de 1985 a 2022 muestra que ha habido un aumento importante en la temperatura a nivel nacional con un quiebre a partir del año 2004.

Figura 2: Temperatura promedio nivel nacional 1985-2002



Temperatura (en grados centígrados) a nivel nacional desde 1985. Línea roja punteada representa quiebre. Líneas negras punteadas son líneas de regresión de MCO, para los periodos pre- y post- quiebre. Los datos para su realización fueron recabados desde la CONAGUA.

### 3.4.- Diferencias en diferencias

El corte de la Figura 2 (línea roja punteada) da un experimento natural que puede ser analizado con el método de Diferencias en Diferencias (DiD). Lo que busca este método es, justamente, un corte o quiebre en el tiempo con el cual y a partir de dos grupos, uno de tratamiento y control, crear un contrafactual asumiendo que el grupo de tratamiento se hubiera

comportado igual que el de control en ausencia del evento estudiado. Esto permite encontrar el efecto causal del tratamiento. Para estos grupos de tratamiento y control, primero necesitamos tener suficientes observaciones antes y después del evento que estamos midiendo, después, necesitan tener tendencias similares antes del evento que queremos medir para asegurarnos de que la evolución en el tiempo de la variable dependiente hubiera sido la misma, en ausencia del tratamiento, para los grupos de control y tratamiento. Si se cumplen estos dos supuestos podemos hacer una comparación ex-post y así obtener el efecto causal del tratamiento. Para ello estimo la siguiente ecuación.

$$Y_{it} = \beta_0 + \beta_1 grupo_i + \beta_2 post_t + \beta_3 GrupoPost_{it} + \varepsilon_{it} \quad (Ec .2)$$

Donde  $Y$  es la variable independiente,  $\beta_1$  el estimador de “grupo” que es el efecto de pertenecer al grupo de tratamiento y cambia según el experimento.  $\beta_2$  el estimador de “post” o sea el efecto que tiene la variable dependiente después del evento y toma valor “1” después del 2004 y “0” si no. y  $\beta_3$  como nuestro estimador de Diferencias en Diferencias “GrupoPost” que es efecto que tuvieron los miembros del grupo de control después del evento y toma valor “1” si pertenece al grupo de tratamiento después del 2004.

Ya en el contexto de este estudio, para realizar los grupos de tratamiento y aprovechando la división de años y estados por semestre, usé la lógica que el cambio climático, traducido en aumentos de temperatura, afectó de forma diferenciada a algunos estados de México. Así, afectando más a aquellos estados que tuvieron aumentos más grandes en la temperatura promedio que a aquellos que sus cambios fueron relativamente menores. Con este razonamiento pude medir el cambio climático de manera diferenciada y así crear grupos de control y de tratamiento. Realicé el DiD suponiendo que el tratamiento sucede en 2004 que es donde vemos el punto de quiebre en la temperatura. Para clasificar los grupos de control y tratamiento realicé tres experimentos con diferentes formas de identificar los grupos de tratamiento y control, con el fin de encontrar el más adecuado.

### 3.5. Elección experimento

El supuesto más importante para el método es el de tendencias paralelas que nos asegura que en ausencia del evento, el grupo de tratamiento se hubiera comportado igual que el grupo de control. La forma más directa de asegurarnos que este supuesto se cumpla para cada

experimento es la visual por lo que cada experimento tendrá la gráfica comparativa de las tendencias de producción de maíz entre el grupo de tratamiento vs el de control. De lograr cumplir con el supuesto de tendencias paralelas, la interpretación de los resultados es clara y directa lo que nos permite identificar con precisión el efecto causal.

Por último, otra preocupación válida es la de contaminación entre los grupos de control y tratamiento ya que, por ejemplo, los cambios de temperatura podrían obligar a los trabajadores a migrar de estados de tratamiento a estados del grupo de control, sesgando los resultados hacia abajo. Esta contaminación puede provocar efectos indirectos entre las unidades de tratamiento y control por lo que efecto sobre una unidad afectaría a otra unidad. Esto violaría el supuesto de SUTVA (Stable Unit Treatment Value Assumption) que implica que el tratamiento de una unidad no debe afectar a de otras unidades. Para este trabajo supongo que esto no sucede, o por lo menos que la migración se da del campo a la ciudad y no a otras producciones de maíz.

#### **4. Resultados**

En esta sección presentaré los resultados de los diferentes experimentos naturales y con ello la evidencia del efecto del aumento en la temperatura sobre la producción del maíz. Todas estas estimaciones deben ser interpretadas con cautela pues los grupos de control y tratamiento están definidos hasta cierto punto de forma arbitraria pues no hay una forma clara de asignar al tratamiento. La asignación de la fecha del inicio del tratamiento también está sujeta a discusión pues, si bien en las gráficas se ve un aumento drástico en la temperatura promedio a partir de 2004, ese quiebre, no necesariamente implica que los efectos sobre la producción del aumento en las temperaturas hayan empezado solo a partir del 2004.

Sin embargo, dada la pregunta de investigación y los datos disponibles, el método de diferencias en diferencias es conveniente porque permite definir grupos de control y tratamiento, y así construir un contrafactual para inferir un efecto causal. De igual manera, definir la fecha de inicio de tratamiento de esta forma es razonable y está respaldado por la evidencia anteriormente mostrada. Todo este ejercicio va en línea con los objetivos de la investigación que es buscar el efecto del cambio climático, aproximado con los cambios en temperatura en la producción de maíz en México.

##### **4.1.- Cambios porcentuales de temperatura**

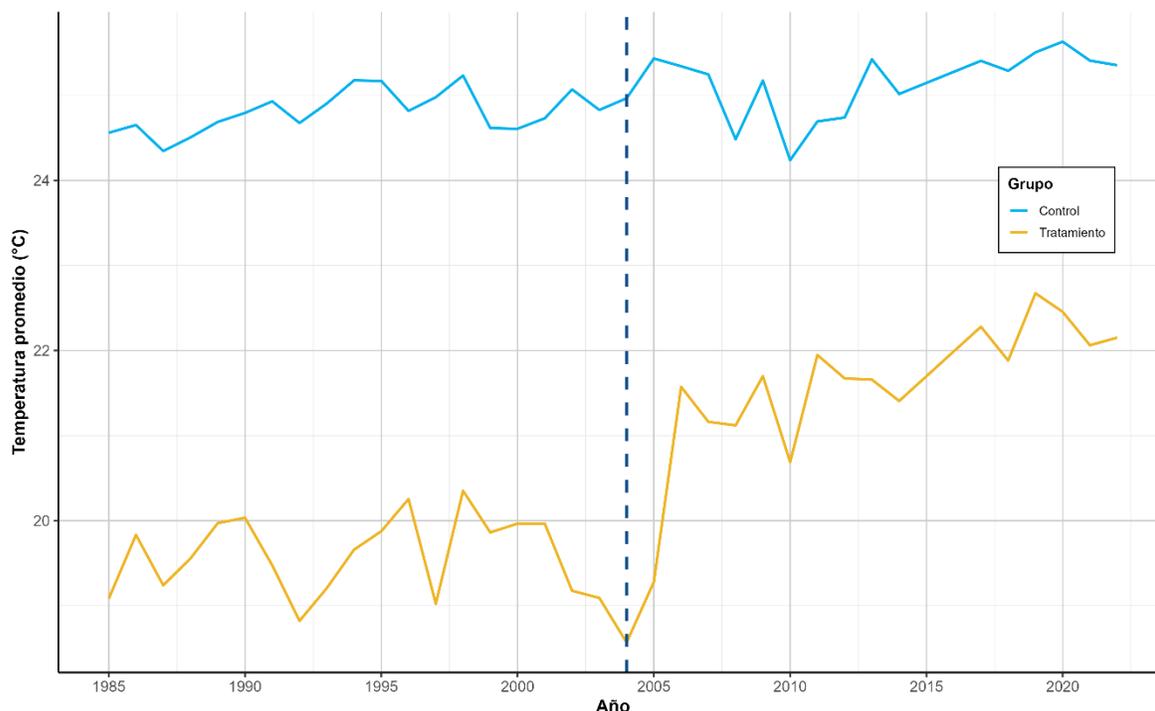
La primera forma de construir los grupos fue a partir de los cambios en la temperatura para todos los estados de México, divididos en dos semestres. Los cambios fueron medidos a través del cambio porcentual; para cada estado- semestre calculé el cambio porcentual en su temperatura año tras año, posteriormente, calculé la media entre esos valores y fue la que usé para ordenar el top de aquellos que cambiaron más y menos. El grupo de tratamiento está conformado por Hidalgo y Nuevo León ambos semestres; Coahuila, San Luis y Tlaxcala primavera; Durango y Chihuahua otoño. El de control contiene a Tabasco y Veracruz con ambos semestres; Sonora, Baja California Sur y Nayarit primavera; Guerrero, Edomex y Campeche otoño.

La regresión entonces tiene como variable dependiente la producción de maíz tanto temporal como de riego, ambas convertidas a logaritmo. La variable “grupo” de la ecuación número 1

toma valor “1” para los estados que más cambios en temperatura experimentaron y “0” para los que menos cambios tuvieron.

En la figura 3 vemos que el único grupo que hay un quiebre claro en la temperatura es el grupo de tratamiento en el año 2004, mientras que en el grupo de control no hay. También podemos ver que, si bien el grupo de control es el que tiene una temperatura más alta, el grupo de tratamiento subió su temperatura promedio en casi dos grados a lo largo del periodo, mientras que el de control lo hizo en menos de uno.

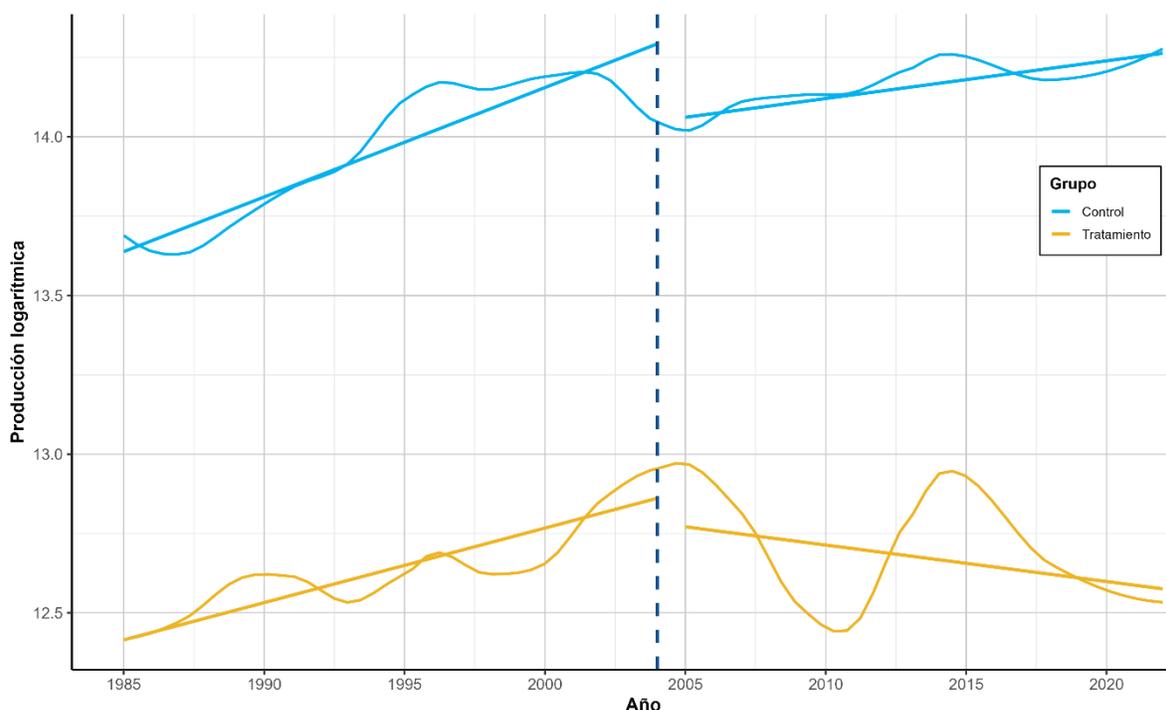
Figura 3: Temperatura control vs tratamiento Exp.1



Temperatura promedio grupo de control vs tratamiento desde 1985. La línea punteada representa el quiebre. Los datos para realizar esta tabla fueron recabados de la CONAGUA

Para evaluar el supuesto de tendencias paralelas podemos ver la figura 4, donde está graficada la producción de maíz del grupo de tratamiento vs el grupo de control. Aquí vemos que antes del 2004, la producción de maíz (en logaritmo) evoluciona de manera similar en ambos grupos, pero después del 2004 el grupo de tratamiento cambia su tendencia hacia una decreciente mientras que, si bien el grupo de control disminuye su producción, su tendencia sigue siendo positiva.

Figura 4: Producción maíz temporal control vs tratamiento Exp.1



*Producción maíz grupo control vs tratamiento desde 1985. Línea punteada representa quiebre. Datos fueron recabados del SIAP.*

Las columnas (1) y (2) de la tabla 2 muestra los estimadores para este experimento natural, para el maíz temporal como de riego. Lo primero que debemos notar es que el estimador de DiD es negativo para ambos tipos de maíz, sin embargo, no es significativo para el de riego como sí lo es para el maíz temporal. Lo que este valor sugiere para el maíz temporal es que, de pertenecer al grupo de estados que más aumentos de temperatura tuvieron después del 2004, la producción se ve reducida en un 70.3%, en el periodo de 2005 a 2002 en comparación con el grupo de control (los estados que menos cambio tuvieron), con un nivel de significancia del 5%.

También podemos ver reflejado este efecto en la figura 4 ya que, si bien vemos que la producción de maíz temporal siguió por lo menos estable para ambos grupos después de la fecha de corte, el grupo de tratamiento que fue el que recibió un mayor efecto del cambio climático - traducido en aumentos de temperatura- solo superó su nivel de producción de 2004 una vez mientras que para el grupo de control esa fue la regla.

Tabla 2: Diferencias en Diferencias

	EXP.1		EXP.2		EXP.3
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	Temporal	Riego	Temporal	Riego	Producción
<b>DID</b>	<b>-0.703**</b> (0.328)	<b>-0.192</b> (0.249)	<b>-0.424**</b> (0.214)	<b>-.255</b> (0.301)	<b>-0.316**</b> (0.157)
<b>PIB</b>	<b>1.812***</b> (0.626)	<b>0.745</b> (0.545)	<b>0.992**</b> (0.386)	<b>1.093***</b> (0.137)	<b>0.622***</b> (0.061)
<b>POBLACIÓN</b>	<b>0.795</b> (1.588)	<b>-0.597</b> (0.872)	<b>-0.714</b> (0.816)	<b>-2.858</b> (2.472)	<b>0.383***</b> (0.065)
<b>N</b>	549	567	525	492	3652
<b>R2</b>	0.094	.019	.018	.146	.117
<b>F STATISTIC</b>	13.816***	2.613**	2.351*	16.618***	96.654***
<b>Nota:</b>	<b>*p&lt;.1; **p&lt;.05; ***p&lt;.01</b>				

Valores de los estimadores de las regresiones de diferencias en diferencias desde 1985. Errores estándar en cluster nivel estado. Los datos fueron recabados del SIAP, CONAGUA e INEGI.

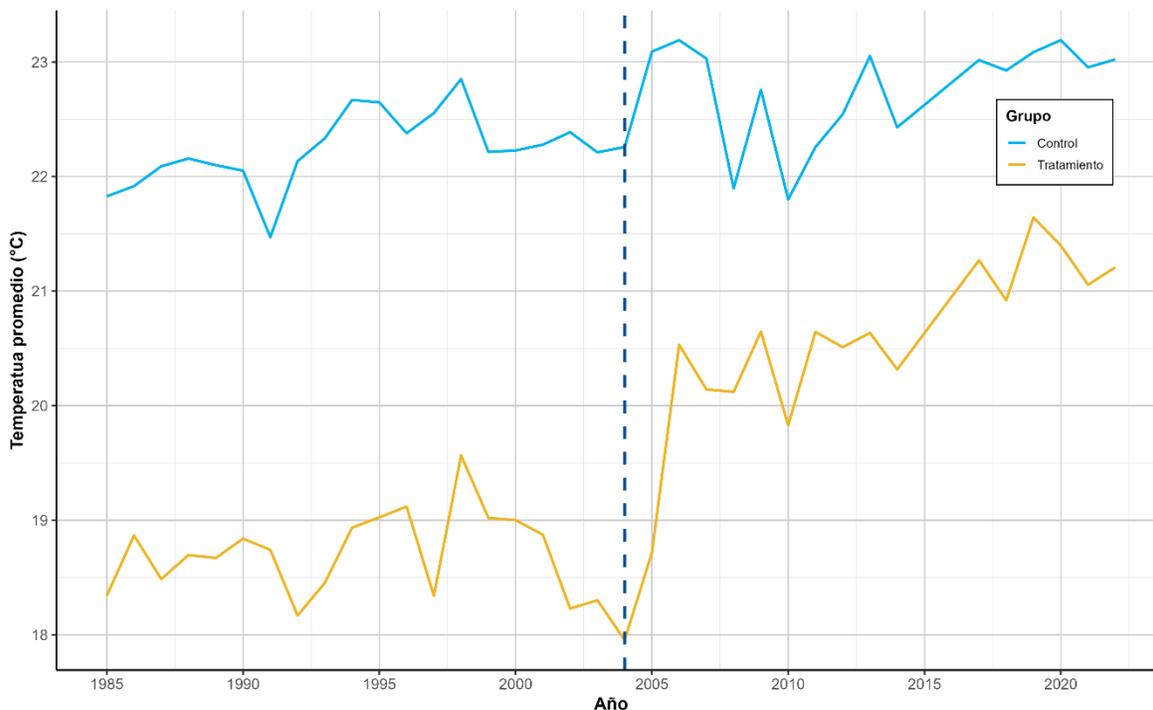
Lo que sugiere este primer experimento es que para aquellos estados que tuvieron una mayor variación porcentual en su temperatura promedio desde 1985 hasta 2022 la producción del maíz temporal pudo haber sido afectada negativamente después y a raíz del quiebre de temperatura que vemos en el 2004. Esto implica que existen un grupo de estados que, al ser más vulnerables al cambio climático, también lo son en cuanto a su producción de maíz temporal. Al regresar a la figura 4 vemos que por más que la media de producción de estos estados nunca fue superior a la del grupo de control, si podemos notar que la brecha entre ambas medias de producción se fue haciendo cada vez más grande.

#### 4.2.- Cambios totales de temperatura

Para este segundo experimento, los estados están identificados como tratamiento o control de acuerdo con su aumento total de temperatura; la media de los primeros 5 años de cada estado- semestre contra su media de los últimos 5 años del periodo, con estos cálculos fue que se hicieron los nuevos grupos. El tratamiento está compuesto por San Luis, Hidalgo y Nuevo León para ambos semestres; CDMX, Chihuahua, Querétaro y Coahuila primavera. El grupo de control

está compuesto por Sonora, Guerrero y Edomex para ambos semestres; Michoacán primavera; Veracruz y Yucatán otoño.

Figura 5: Temperatura control vs tratamiento Exp.2



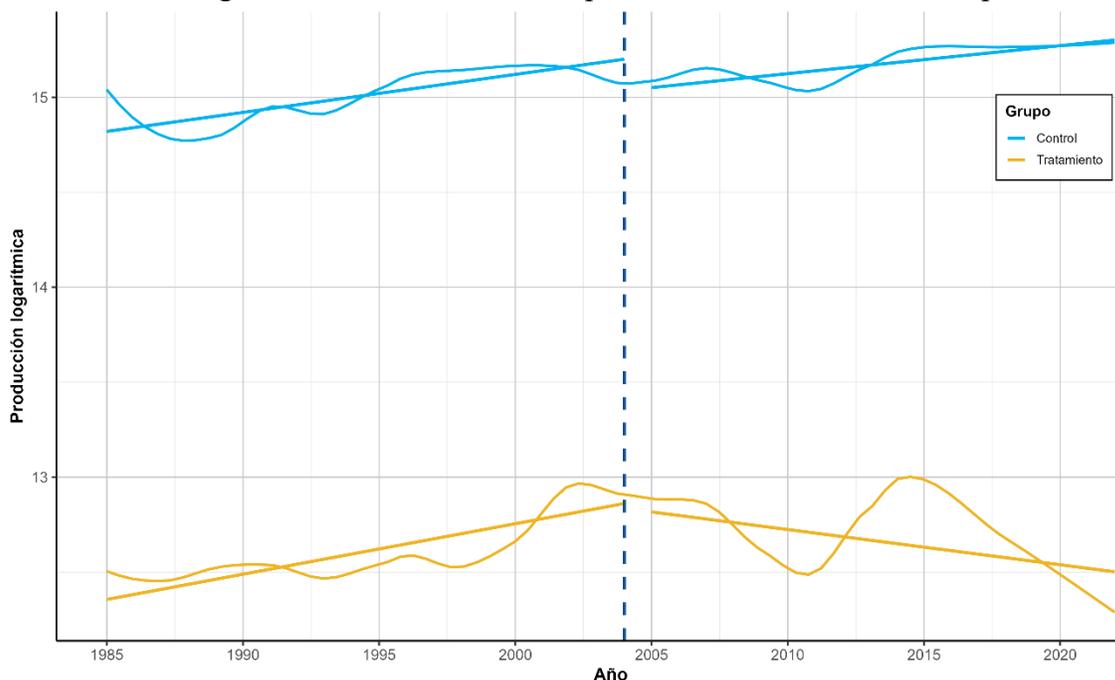
Temperatura promedio grupo de control vs tratamiento desde 1985. La línea punteada representa el quiebre. Los datos utilizados para realizar esta figura fueron recabados de la CONGUA.

La Figura 5 muestra la entrada del tratamiento y el efecto que buscamos en el año 2004, mientras que el grupo de control subió poco más de un grado en todo el periodo estudiado, el de tratamiento lo hizo casi en 3 grados.

Para comprobar el supuesto de tendencias paralelas, en la figura 6 podemos ver que ambos grupos tiene tendencias positivas similares antes del 2004. Es después del 2004 que el grupo de tratamiento pasa a tener una tendencia decreciente mientras que el de control sigue con la misma tendencia positiva. Las columnas (3) y (4) de la Tabla 2 muestran los valores de los estimadores para este experimento natural. El estimador de DiD vuelve a ser negativo para ambos tipo de maíz pero solo es significativo para el maíz de temporal, con una significancia del 5%. Lo que dice este estimador es que el pertenecer al grupo de tratamiento, o sea sufrir más aumento de temperatura, después del año de quiebre indica una reducción del 42.4% de la producción de maíz temporal, en el periodo de 2005 a 2022, comparado al grupo de control. Para el maíz de

riego su coeficiente no es significativo por lo que no hay indicios de que se vea afectado. Este experimento sugiere que los estados que más cambiaron en su temperatura total después del año 2004 vieron reducida su producción de maíz temporal a raíz de estos aumentos en la temperatura.

Figura 6: Producción maíz temporal control vs tratamiento Exp.2



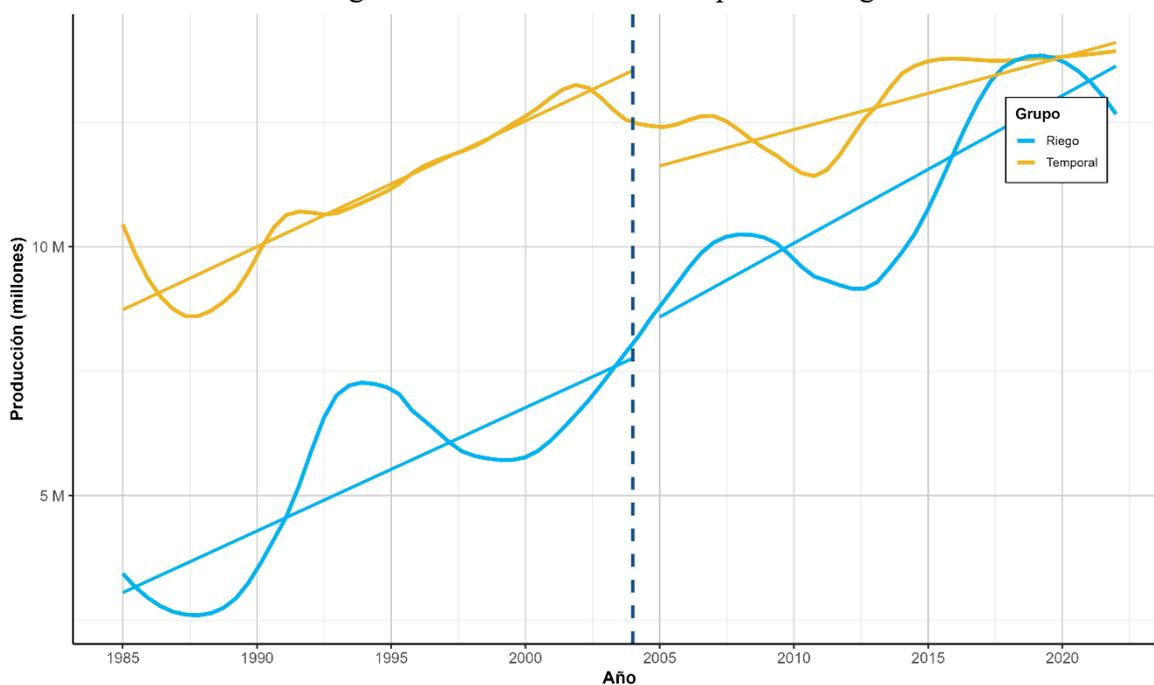
*Producción de maíz grupo control vs tratamiento desde 1985. Línea punteada representa quiebre. Los datos fueron recabados del SIAP.*

#### 4.4.- Temporal vs riego

Para demostrar con más claridad que el maíz de temporal ha sido más afectado que el maíz de riego, realicé un último experimento donde comparo ambos tipos de producción. Tiene el mismo razonamiento que los experimentos anteriores por lo que también es un Diferencias en Diferencias. Para realizar el experimento construí un nuevo panel con todas las observaciones completas para ambos tipos de maíz, el grupo de tratamiento fue el maíz de temporal mientras que el grupo de control es el maíz de riego. La variable dependiente es producción total, no dividida por modalidad de riego o temporal como en los experimentos pasados. De esta forma puedo aislar el efecto sobre el maíz de temporal en comparación de la producción total.

La última columna de la tabla 2 presenta los valores de los estimadores de esta regresión. El estimador de Diferencias en Diferencias tiene significancia del 5% e indica que pertenecer al grupo de tratamiento, en este caso la producción de maíz temporal, después de la fecha de corte sugiere una reducción en la producción total en un 31.6% en comparación con el maíz de riego, en el periodo de 2005 a 2022. Esto lo podemos ver representado en la figura 7 donde están graficados los totales de producción temporal contra la producción de riego. Aquí la producción de maíz temporal siempre ha sido mayor a la de riego sin embargo vemos como se ha quedado estancada en comparación con la producción de riego. Mientras en 1985 la diferencia era de más de siete millones de toneladas, para 2022 la diferencia fue de apenas 1 tonelada. Si bien esto también está explicado por el cambio tecnológico, dado que el sistema de riego conlleva más costos de infraestructura entre otros, como vemos con la variable de PIB en la tabla 2, este efecto también está explicado por la forma de medir el cambio climático en el experimento que es el estimador de diferencias en diferencias.

Figura 7: Producción maíz temporal vs riego



*Producción maíz (en millones de unidades) temporal vs riego nivel nacional desde 1985. Los datos para realizar esta gráfica fueron recabados desde el SIAP.*

#### 4.5.- Resultados e implicaciones generales

En general, todos los resultados sugieren que los aumentos en la temperatura promedio para los estados pertenecientes al grupo de tratamiento representan una disminución de la producción

de maíz temporal. Las disminuciones van desde 30% hasta 70% dependiendo de cómo se defina el grupo de tratamiento. En todos los estimadores de DiD este efecto es mucho más grande, y significativo, para el maíz de temporal que de riego. Esto va en línea con la literatura revisada (Granados et al, 2013; Porrúa, 2018; De Luque et al, 2016) donde estos autores encuentran que el maíz de temporal será mucho más vulnerable a los cambios en las variables climatológicas que el maíz de riego.

El maíz de temporal es mucho más afectado pues depende prácticamente solo de las condiciones climatológicas (SADER, 2016) pues si no existen las condiciones ideales de temperatura los suelos no aptos para el cultivo del maíz aumentan (Conde et al, 2007). En México, los estados más aptos para el cultivo de maíz temporal podrían perder entre 30 y 40% de sus rendimientos (Porrúa, 2024). Por último, los aumentos de temperatura traen consigo una mayor demanda hídrica de parte de los cultivos por lo que si estos aumentos de temperatura no están acompañados de aumentos de lluvia, los rendimientos podrían caer (Ojeda et al, 2011). Todos estos aspectos pueden ser mejor controlados por la agricultura de riego pues hay varios tipos de riego, cada uno según las necesidades del clima y el cultivo.

Los primeros dos experimentos muestran evidencia de que aquellos estados que han sufrido de mayores cambios de temperatura desde 1985 han tenido efectos negativos en la producción del maíz temporal. Esto podemos verlo reflejado en las cifras donde varios de los mayores productores del cultivo en el país como Michoacán, Estado de México y Sonora repiten en el grupo de control como los estados que menos cambios porcentuales y totales de temperatura han sufrido. Dejando las demás variables constantes, como geografía y tecnología, tiene sentido que aquellos que menos cambios de temperatura han sufrido sean los que más han producido. Dado que los aumentos en la temperatura están relacionados a una menor producción de maíz, aquellos que sufran más aumentos en su temperatura promedio estarán en una posición de mayor vulnerabilidad en cuanto a su producción de maíz temporal.

Esta relación es preocupante para estados que dependen en gran medida de su sector agrícola y/o de maíz temporal que, como lo mencioné en la primera sección, es la mayor parte del territorio mexicano. También lo es para aquellos estados que no entraron en el análisis por no tener cambios ni muy grandes ni muy pequeños, pero cuentan con un sector agrícola grande como Jalisco, Chiapas o Puebla. De empezar a experimentar aumentos significativos en la

temperatura su industria agrícola de maíz temporal se tendría que adaptar rápidamente o transitar a una agricultura de riego con los costos elevados que suponen la infraestructura, la energía, el agua o mano de obra.

## **5.- Discusión**

### **5.1.- Discusión de resultados**

Los resultados obtenidos en este trabajo sugieren que el cambio climático, reflejado en aumentos de temperatura promedio, afecta negativamente a la producción de maíz de temporal. Esto de acuerdo con el análisis realizado, aquellos estados que experimentaron mayores aumentos (totales y porcentuales) en temperatura después de la fecha de corte vieron reducida su producción de maíz temporal.

Este análisis sugiere una relación inversa entre la producción de maíz temporal y los aumentos de temperatura. Los cambios climatológicos están afectando los rendimientos del maíz posiblemente debido a una mayor temperatura que conlleva a mayor demanda hídrica de los cultivos (Ojeda et al, 2010) y afecta la variabilidad de las lluvias (Owusu et al, 2019). Lo anterior, combinado con una baja capacidad de los productores para adaptarse a los cambios de temperatura producto del cambio climático (Fréjuis et al, 2024), puede explicar parte de la disminución de los rendimientos del maíz temporal. También podemos notar que el maíz de temporal ha visto sus rendimientos reducidos en comparación con el maíz de riego. Esto puede deberse a cambios tecnológicos y en la infraestructura de los campos de producción, pues con estas herramientas los productores de maíz de riego pueden controlar mejor el desarrollo del cultivo.

Los resultados que aquí se muestran coinciden con los estudios previos realizados, tanto en que las variables climáticas de temperatura y lluvia tienen un efecto en la producción de maíz. También coinciden en que los aumentos de temperatura están inversamente relacionados con la producción de maíz de temporal. Sin embargo, el estudio no encuentra evidencia de que la lluvia afecta en un sentido positivo o negativo a la producción de maíz, ya que la lluvia no se pudo usar como variable de tratamiento por la ausencia de una clara fecha de quiebre en la serie. Por su parte, otras investigaciones revisadas sí construyen esta relación. Varios de estos estudios fueron realizados en diferentes zonas del mundo por lo que en esos lugares sí pudo haber algún indicador claro para encontrar los efectos, ya fueran positivos o negativos, de la lluvia en la producción del maíz

## 5.2.- Implicaciones

Estos resultados pueden tener implicaciones en varias áreas del país, una de las más relevantes sería el sector salud pues el maíz juega un rol en la salud pública. El maíz tiene relación con la prevención de varias enfermedades como lo puede ser prediabetes, diabetes tipo 2, enfermedades cardiovasculares y la obesidad.<sup>12</sup> Si bien el maíz tiene sustitutos, no deja de representar un cambio importante en la dieta de los mexicanos de un alimento que trae consigo efectos positivos.

Por último, las implicaciones de estos resultados, como la reducción de la producción del maíz o disminución de rendimientos del sembradío, ponen en riesgo la consecución de seguridad alimentaria en el país pues, dado que el cambio climático afecta al maíz en cuanto a rendimientos y cantidad, se crea una especie de vacío calórico que las personas tienen que llenar con alimentos chatarra o sustitutos que pueden ser menos accesibles.<sup>13</sup> Este tipo de resultados en otras partes del mundo relevantes a nivel producción del maíz como Estados Unidos o Brasil, implicaría riesgos en la seguridad alimentaria, provocando un aumento de los precios y haciendo el cultivo menos accesible para la población (Tesfaye et al, 2014).

## 5.3.- Limitaciones

Un aspecto importante para considerar al momento de interpretar los resultados es el de la elección de la fecha de corte para el análisis de experimento de diferencias en diferencias. Si bien es una fecha seleccionada dada la evidencia mostrada y da resultados hasta cierto punto lógicos, no deja de ser una fecha escogida arbitrariamente que puede estar afectada por factores externos como cambios en las mediciones originales o errores al momento de computar los valores. Aun así, dada las capacidades y los materiales del estudio es una buena manera de aproximarnos al problema.

Una limitante importante del modelo en sí son los pocos controles con los que cuenta. Podrían agregarse o combinar con más controles tanto agrícolas como número de hectáreas trabajadas, datos fenológicos del cultivo; demográficos como número de trabajadores en el

---

<sup>12</sup> Selene Valerino-Perea et al., "Definition of the Traditional Mexican Diet and Its Role in Health: A Systematic Review," *Nutrients* 11, no. 11 (2019): 2803, <https://doi.org/10.3390/nu11112803>.

<sup>13</sup> Verónica Mundo-Rosas et al., "Evolución de la inseguridad alimentaria en los hogares mexicanos: 2012-2016," *Salud Pública de México* 60, no. 3 (2018): 309-318, <https://doi.org/10.21149/8809>.

sector agrícola; o climatológicos como niveles de gases de efecto invernadero, o indicadores más precisos de lluvia y temperatura. Con estos controles, el modelo tendría más precisión a la hora de estimar los coeficientes y sería más confiable. El presente modelo no metió estos controles pues la mayoría de ellos como número de trabajadores del sector agrícola o niveles de gases de efectos invernadero no están disponibles a nivel estatal para todo el periodo.

Por último, la limitación más importante del estudio es que no logró construir un experimento para medir los impactos de la lluvia en la producción del maíz más allá de la temperatura. Si bien los resultados de los experimentos de temperatura son relevantes, lo serían aún más acompañados de un experimento que tomara los cambios en la lluvia para construir los grupos de control y tratamiento. El procedimiento para buscar este experimento natural fue el mismo que con la temperatura, puede que no sea posible replicarlo con la lluvia puesto que el cambio climático no ha cambiado, de manera notoria, los patrones de lluvia promedio en México dentro del periodo estudiado.

Investigaciones futuras podrían tomar en cuenta estas limitaciones para dar de robustez al ejercicio. Sería interesante replicar el ejercicio a dos niveles distintos; el primero sería hacerlo a nivel estado para los estados que más producen a nivel nacional como Sinaloa, Jalisco o el Estado de México para buscar por riesgos potenciales a la producción de maíz. La segunda forma sería con esta lógica, pero agregando los estados de menos producción para buscar si estas diferencias vienen directas de la geografía o hay otros factores que estén frenando o potenciando la producción de los estados.

#### 5.4.-Conclusión

En resumen, este estudio proporciona evidencia de que el cambio climático, entendido como aumentos en la temperatura promedio, podría estar afectando a la producción del maíz temporal en México. Esto destaca la necesidad de crear políticas agrícolas que ayuden a mitigar los efectos negativos que pueden venir del cambio climático. Estas políticas pueden ir desde proporcionar información adecuada a los productores acerca del cambio climático y cómo puede llegar a afectar sus cultivos (Galindo et al, 2015) o la transferencia directa de bienes o incentivos para que los productores adopten medidas de mitigación (Mubalama et al, 2024) como lo pueden ser granos más resistentes (Galindo et al, 2015) o fertilizantes que puedan ayudar a conservar los rendimientos del cultivo (Fréujis et al, 2024).

También destaca la importancia de que las mismas familias y productores de maíz comiencen a adaptarse a las nuevas condiciones climáticas. Como vimos, a veces los efectos negativos vienen acompañados de poca preparación o conocimiento de los productores. Algo que podría resultar beneficioso de implementar es hacer campos de producción vecinales o comunales ya que así los productores tendrían una red de apoyo ante los aumentos de temperatura y en general los efectos del cambio climático. Si bien esto no se ha probado en México a nivel campo, si se ha hecho con huertos familiares y tienen un impacto positivo en las familias (Martinez et al, 2016).

En conclusión, a pesar de tener limitaciones, el presente estudio busca formas de medir el efecto causal entre el cambio climático y la producción de maíz, los resultados de este trabajaron sugieren que aquellos estados que más experimentaron aumentos en su temperatura vieron reducida su producción de maíz temporal. Esta relación es importante pues más del 70% de superficie agrícola en México está destinada a la producción temporal (INEGI, 2022), de ahí la importancia de implementar medidas adecuadas para las nuevas condiciones climáticas. Futuros estudios podrían centrarse en los efectos para zonas específicas con alta producción de maíz de acuerdo con las necesidades. El cambio climático ya podría estar afectando a los cultivos y con ellos muchas otras áreas como la seguridad alimentaria o la salud, conocer cómo y en qué magnitud es importante para implementar soluciones efectivas y necesarias.

## **6.- Bibliografía:**

- Ahumada Cervantes, Ramiro, Gilberto Velázquez Angulo, Edith Flores Tavizón, y Jaime Romero González. "Impactos Potenciales del Cambio Climático en la Producción de Maíz." *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes* 22, no. 61 (2014): 48-53. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=67431579007>.
- Akpa, Armand Fréjouis, Cocou Jaurés Amegnaglo, y Augustin Foster Chabossou. "Climate Change Adaptation Strategies and Technical Efficiency of Maize Producers in Benin, West Africa." *International Journal of Productivity and Performance Management* 73, no. 4 (2024): 1071-1087. <https://doi.org/10.1108/IJPPM-06-2022-0284>.
- Arce Romero, Antonio Rafael. *Estimación de Rendimientos Potenciales de Cultivos Agrícolas en México con Escenarios de Cambio Climático*. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), 2017.
- Barra, Ricardo, y Mogens Gallardo. *Cambio Climático Global*. Universidad de Concepción, Centro Eula-Chile, 1997. Sitio Argentino de Producción Animal. <http://www.produccion-animal.com.ar>.
- Baum, Mitch E., Mark A. Licht, Isaiah Huber, y Sotirios V. Archontoulis. "Impacts of Climate Change on the Optimum Planting Date of Different Maize Cultivars in the Central US Corn Belt." *European Journal of Agronomy* 119 (2020): 126101. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2020.126101>.
- Bedeke, Sisay, Wouter Vanhove, Muluken Gezahegn, Kolandavel Natarajan, y Patrick Van Damme. "Adoption of Climate Change Adaptation Strategies by Maize-dependent Smallholders in Ethiopia." *NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences* 88 (2019): 96-104. <https://doi.org/10.1016/j.njas.2018.09.001>.
- Belford, Christopher, Delin Huang, Yosri Nasr Ahmed, Ebrima Ceesay, y Lang Sanyang. "An Economic Assessment of the Impact of Climate Change on The Gambia's Agriculture Sector: A CGE Approach." *International Journal of Climate Change Strategies and Management* 15, no. 3 (2023): 322-352. <https://doi.org/10.1108/IJCCSM-01-2022-0003>.
- Benavides Ballesteros, Henry Oswaldo, y Gloria Esperanza León Aristizábal. *Información Técnica sobre Gases de Efecto Invernadero y el Cambio Climático*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), 2007.
- Bouteska, Ahmed, Taimur Sharif, Faruk Bhuiyan, y Mohammad Zoynul Abedin. "Impacts of the Changing Climate on Agricultural Productivity and Food Security: Evidence from Ethiopia." *Journal of Cleaner Production* 449 (2024): 141793. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.141793>.

- Caballero, Margarita, Socorro Lozano, y Beatriz Ortega. "Efecto Invernadero, Calentamiento Global y Cambio Climático: Una Perspectiva Desde las Ciencias de la Tierra." *Revista Digital Universitaria* 8, no. 10 (2007). <http://www.revista.unam.mx/vol.8/num10/art78/int78.htm>.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). *Datos Abiertos sobre Lluvia*. Datos.gob.mx, 2023. [https://datos.gob.mx/busca/organization/conagua?q=lluvia&sort=score+desc%2C+metadata\\_modified+desc](https://datos.gob.mx/busca/organization/conagua?q=lluvia&sort=score+desc%2C+metadata_modified+desc). Accedido el 8 de marzo de 2024.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). *Datos Abiertos sobre Temperatura*. Datos.gob.mx, 2023. [https://datos.gob.mx/busca/organization/conagua?q=temperatura&sort=score+desc%2C+metadata\\_modified+desc](https://datos.gob.mx/busca/organization/conagua?q=temperatura&sort=score+desc%2C+metadata_modified+desc). Accedido el 7 de marzo de 2024.
- Conde, Cecilia, Rosa María Ferrer, y Diana Liverman. "Estudio de la Vulnerabilidad de la Agricultura de Maíz de Temporal mediante el Modelo CERES-Maize." Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM, 1997.
- Estrada Porrúa, Francisco. *Estimación de los Costos Económicos de Cambio Climático para México a Nivel Estatal y País Bajo Distintos Escenarios de Cambio Climático*. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) e Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), 2018.
- FAO. *Cambio Climático y Seguridad Alimentaria: Un Documento Marco*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), Roma, 2007. [https://www.fao.org/clim/index\\_en.htm](https://www.fao.org/clim/index_en.htm)
- Fernández Suárez, Rocío, Luis A. Morales Chávez, y Amanda Gálvez Mariscal. "Importancia de los Maíces Nativos de México en la Dieta Nacional: Una Revisión Indispensable." *Revista Fitotecnia Mexicana* 36, Supl. 3-A (2013): 275-283.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). *Climate Change and Food Security: Risks and Responses*. FAO, 2015. <https://doi.org/10.4060/I4330EN>.
- Galindo, Luis Miguel, José Eduardo Alatorre Bremont, y Orlando Reyes Martínez. "Adaptación al Cambio Climático a través de la Elección de Cultivos en Perú." *El Trimestre Económico* 82, no. 327 (2015): 489-519. <https://doi.org/10.20430/ete.v82i327.2015>
- Ghosh, Madhusudan. "Climate-Smart Agriculture, Productivity and Food Security in India." *Journal of Development Policy and Practice* 4, no. 2 (2019): 166-187. <https://doi.org/10.1177/2455133319862404>.
- Granados Ramírez, Rebeca, y Asael Alejandro Sarabia Rodríguez. "Cambio Climático y Efectos en la Fenología del Maíz en el DDR - Toluca." *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 4, no. 3 (2013): 435-446.

- Hernández Ramírez, Jacqueline. *Componentes de la Dieta y su Relación con el Consumo de Maíz en Mujeres Matlatzincas*. Tesis de licenciatura en Nutrición, Universidad Autónoma del Estado de México, 2018.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). *Población. Tabulados Interactivos*. 2023. [https://www.inegi.org.mx/app/tabulados/interactivos/?pxq=Poblacion\\_Poblacion\\_01\\_fc8bf1e7-1b23-4278-aa2e-617246a1765d](https://www.inegi.org.mx/app/tabulados/interactivos/?pxq=Poblacion_Poblacion_01_fc8bf1e7-1b23-4278-aa2e-617246a1765d). Accedido el 29 de agosto de 2024
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). *Producto Interno Bruto por Entidad Federativa, 2018*. 2023. <https://www.inegi.org.mx/programas/pibent/2018/#tabulados>. Accedido el 1 septiembre de 2024
- Lozano-Povis, Arlitt, Carlos E. Alvarez-Montalván, y Nabil Moggiano-Aburto. "El Cambio Climático en los Andes y su Impacto en la Agricultura: Una Revisión Sistemática." *Scientia Agropecuaria* 12, no. 1 (2021): 101-108. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2021.012>.
- Monroy-Martínez, Rafael, Alma Ponce-Díaz, Hortensia Colín-Bahena, Columba Monroy-Ortiz, y Alejandro García-Flores. "Los Huertos Familiares Tradicionales: Soporte de Seguridad Alimentaria en Comunidades Campesinas del Estado de Morelos, México." *Ambiente y Sostenibilidad* 6 (2016): 33-43. <https://doi.org/10.25100/ays.v0i0.4288>.
- Morales Casco, Lester Antonio, y C.A. Zuniga Gonzalez. "Impactos del Cambio Climático en la Agricultura y Seguridad Alimentaria." *Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático* 2, no. 1 (2016): 101-120. <https://doi.org/10.5377/ribcc.v2i1.5700>.
- Mugisho, Gilbert Mubalama, Luc Murhandikire Ngalo, y Fabrice Nfuamba Lukeba. "Vulnerability and Adaptation of Maize Smallholder Farmers to Climate Change: A Sub-Saharan African Context." *Discover Agriculture* 2, no. 10 (2024): Artículo 10. <https://doi.org/10.1007/s44279-024-00023-4>.
- Mundo-Rosas, Verónica, Norma Isela Vizuet-Vega, Jesús Martínez-Domínguez, M. del Carmen Morales-Ruán, Rafael Pérez-Escamilla, y Teresa Shamah-Levy. "Evolución de la Inseguridad Alimentaria en los Hogares Mexicanos: 2012-2016." *Salud Pública de México* 60, no. 3 (2018): 309-318. <https://doi.org/10.21149/8809>.
- Munguía-Aldama, Josefina, Fabiana Sánchez-Plata, Ivonne Vizcarra-Bordi, y María Rivas-Guevara. "Estrategias para la Producción de Maíz frente a los Impactos del Cambio Climático." *Revista de Ciencias Sociales* 21, no. 4 (2015): 538-547.
- Munishi, Linus K., Anza A. Lema, y Patrick A. Ndakidemi. "Decline in Maize and Beans Production in the Face of Climate Change at Hai District in Kilimanjaro Region, Tanzania." *International Journal of Climate Change Strategies and Management* 7, no. 1 (2015): 17-26. <https://doi.org/10.1108/IJCCSM-07-2013-0094>.

- Noriega-Navarrete, José Luis, Raquel Salazar-Moreno, e Irineo Lorenzo López-Cruz. "Revisión: Modelos de crecimiento y rendimiento de maíz en escenarios de cambio climático." *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 12, no. 1 (2021): 127-140. <https://doi.org/10.13031/2013.31032>.
- Ojeda-Bustamante, Waldo, Ernesto Sifuentes-Ibarra, Mauro Íñiguez-Covarrubias, y Martín J. Montero-Martínez. "Impacto del Cambio Climático en el Desarrollo y Requerimientos Hídricos de los Cultivos." *Agrociencia* 45, no. 1 (2011): 1-11.
- Owusu, Kwadwo, Ayisi Kofi Emmanuel, Issah Justice Musah-Surugu, y Paul William Kojo Yankson. "The Effects of 2015 El Niño on Smallholder Maize Production in the Transitional Ecological Zone of Ghana." *International Journal of Climate Change Strategies and Management* 11, no. 5 (2019): 609-621. <https://doi.org/10.1108/IJCCSM-02-2018-0014>.
- Rodríguez De Luque, Jesús J., Carlos E. González Rodríguez, Sharon Gourджи, Daniel Mason-D'Croz, Diego Obando-Bonilla, Jeison Mesa-Diez, y Steven D. Prager. "Impactos Socioeconómicos del Cambio Climático en América Latina y el Caribe: 2020-2045." *Cuadernos de Desarrollo Rural* 13, no. 78 (2016): 11-34. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.cdr13-78.iscc>.
- Ruminta, Maysix L, y Wicaksono FY. "Identification of Climate Change and its Impact on Maize (*Zea mays* L.) Production in Majalengka Regency." *Jurnal Kultivasi* 23, no. 1 (2024): 43-51. <https://doi.org/10.24198/kultivasi.v23i1.46427>.
- Salman, Maher, Margarita García-Vila, Elias Fereres, Dirk Raes, y Pasquale Steduto. *The AquaCrop Model: Enhancing Crop Water Productivity - Ten Years of Development, Dissemination and Implementation 2009-2019*. FAO Water Report No. 47. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2021. <https://doi.org/10.4060/cb7392en>.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). *Datos Abiertos de Producción Agropecuaria 1985-2022*. 2023. <http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos.php>. Accedido el 12 de septiembre de 2024.
- Tesfaye, Kindie, Sika Gbegbelegbe, Jill E. Cairns, Bekele Shiferaw, Boddupalli M. Prasanna, Kai Sonder, Ken Boote, Dan Makumbi, y Richard Robertson. "Maize Systems under Climate Change in Sub-Saharan Africa: Potential Impacts on Production and Food Security." *International Journal of Climate Change Strategies and Management* 7, no. 3 (2015): 247-271. <https://doi.org/10.1108/IJCCSM-01-2014-0005>.
- Tojo Soler, Cecilia Manuela, Paulo César Sentelhas, y Gerrit Hoogenboom. "Application of the CSM-CERES-Maize Model for Planting Date Evaluation and Yield Forecasting for Maize Grown Off-season in a Subtropical Environment." *European Journal of Agronomy* 27, no. 2-3 (2007): 165-177. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2007.03.002>.

Ureta, Carolina, Edgar J. González, Alejandro Espinosa, Alejandro Trueba, Alma Piñeyro-Nelson, y Elena R. Álvarez-Buylla. "Maize Yield in Mexico under Climate Change." *Agricultural Systems* 177 (2020): 102697. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.102697>.

Valerino-Perea, Selene, Laura Lara-Castor, Miranda Elaine Glynis Armstrong, y Angeliki Papadaki. "Definition of the Traditional Mexican Diet and Its Role in Health: A Systematic Review." *Nutrients* 11, no. 11 (2019): 2803. <https://doi.org/10.3390/nu11112803>.