

## **RETOS DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO PARA LA AGRICULTURA DE MÉXICO**

Alejandro Ismael MONTERROSO RIVAS<sup>1</sup>, Jesús David GÓMEZ DÍAZ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Departamento de Suelos. Universidad Autónoma Chapingo.*

[aimrivas@correo.chapingo.mx](mailto:aimrivas@correo.chapingo.mx), [dgomez@correo.chapingo.mx](mailto:dgomez@correo.chapingo.mx)

### **RESUMEN**

El estudio del impacto del cambio climático sobre la actividad agrícola ha sido explorado desde hace varios años a nivel nacional. Desde el Departamento de Suelos de la Universidad Autónoma Chapingo un equipo de trabajo multidisciplinario ha trabajado desde hace varios años en proyectos de adaptación al cambio climático. Por lo que el objetivo del presente es mostrar los principales impactos del cambio climático a partir de los estudios antes indicados y otros más en la actividad agrícola nacional. Se muestran indicadores que sugieren el seguimiento a las acciones de adaptación en el sector. Cabe recordar que la actividad agrícola es parte importante de la economía en México por lo que es menester evidenciar su vulnerabilidad a los cambios en el clima. Se muestran resultados sobre los impactos del cambio climático sobre las aptitudes actuales y futuras, con escenarios de cambio climático, de poco mas de quince cultivos de importancia; también sobre el cambio en el periodo de crecimiento que muestra los posibles impactos en esta variable. Sobre los cultivos estudiados se muestra el cambio en los rendimientos futuros para evaluar el cambio potencial y establecer un impacto por esta variable. Así mismo, los resultados incluyen el cambio en temperatura y humedad de los suelos de México.

**Palabras clave:** aptitud agrícola, rendimientos, periodo de crecimiento, suelos

### **ABSTRACT**

The study of the impact of climate change on agricultural activity has been explored for several years at the national level. From the Department of Soils of the Universidad Autónoma Chapingo, a multidisciplinary work team has been working for several years on climate change adaptation projects. Therefore, the objective of the present is to show the main impacts of climate change based on the aforementioned studies and others in the national agricultural activity. Indicators are shown that suggest the monitoring of adaptation actions in the sector. It should be remembered that agricultural activity is an important part of the economy in Mexico, so it is necessary to demonstrate its vulnerability to changes in the climate. Results are shown on the impacts of climate change on current and future skills, with climate change scenarios, of just over fifteen important crops; also on the change in the growth period that shows the possible impacts on this variable. On the crops studied, the change in future yields is shown to evaluate the potential change and establish an impact for this variable. Likewise, the results include temperature and humidity of the soils of Mexico.

**Key words:** agricultural suitability, crop yields, growing season, soils

## **1. INTRODUCCIÓN**

Los impactos del cambio climático amenazan con hacer más difícil la producción de los alimentos, lo que aumentaría los costos de producción y de distribución (Foley et al., 2011), incluyendo enormes pérdidas. Es altamente probable que los efectos impacten de manera desproporcionada a los hemisferios (norte y sur) (IPCC, 2022), afectando de diferente forma a los distintas comunidades o tipos de agricultores (Holt-Giménez et al., 2012).

Si bien existe compromisos que cada uno de los países están asumiendo en el marco del Acuerdo de París 2015 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), es necesario transformar de manera colectiva la forma de producir y de consumir de cada ser humano, con el fin de asegurar la alimentación, adaptarse al cambio climático y lograr los medios de vida; esto requiere cambios sistémicos radicales en los valores, patrones de comportamiento social y en gobernabilidad (Rockström et al., 2009; Steffen et al., 2015).

El país ha avanzado en el desarrollo y consolidación de instrumentos de importancia fundamental para impulsar la reducción de la vulnerabilidad ante el cambio climático (México-CICC, 2018; SEMARNAT & INECC, 2015). Se han identificado al menos a 319 municipios catalogados como territorios muy vulnerables (Gobierno de México, 2014) y a partir de las Contribuciones Determinadas México se ha comprometido a reducir esta condición en al menos la mitad de ellos (México-INECC, 2015), sin embargo, no se ha concretado la manera en que este compromiso puede lograrse para el año 2030.

Si se considera que al menos el 61% del territorio del país se utiliza para realizar actividades agrícolas, (49.9 millones de hectáreas destinados a agricultura y 65.9 millones de ha a actividades pecuarias o forestales), analizar la capacidad de adaptación en el sector agrícola es indispensable. De los 5.3 millones de Unidades de Producción (UP), reportados por la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (FAO, 2012), al menos el 70% de UP se consideraban como de pequeña y mediana escala; sin embargo, no existe una actualización de esta información actualmente y solo se cuenta con información a nivel de municipio.

Debido a lo anterior, el objetivo del trabajo es identificar los impactos por cambio climático y resaltar cuales son los principales retos que enfrenta el sector frente al cambio climático, de tal manera que se pueda contribuir en el conocimiento de la reducción de la vulnerabilidad al cambio climático en los municipios que se dedican principalmente a las actividades primarias.

## **2. MÉTODOS**

En el estudio se aplicaron diversos métodos mejor descritos a continuación:

Aptitud actual y futura. A partir de los cultivos seleccionados y tomando las características ambientales requeridas para cada uno, se elaboraron matrices de aptitud con los rangos de requerimientos de parámetros climáticos, características y propiedades del suelo, relieve, humedad disponible entre otras. Se aplicaron las

matrices sobre la cartografía y se obtuvieron mapas de aptitud actual para el país y por cultivo. Después, se aplicaron los escenarios de cambio climático y se obtuvieron nuevos mapas.

Periodo de crecimiento. Es el período del año –o cantidad de días-, en el que las condiciones de humedad como de temperatura son favorables para el desarrollo de los cultivos. De acuerdo con FAO (Abedinpour et al., 2012; Allen et al., 2006) se puede estimar por un balance de humedad entre la precipitación y la evapotranspiración potencial. Después de obtener la cartografía actual se aplicaron los escenarios de cambio climático y se estimó el comportamiento y cambio potencial.

Rendimientos potenciales. Para los cultivos seleccionados se conformó una base de datos histórica de rendimientos observados. Para algunos de los cultivos además se seleccionó información para diversos lugares del país. Con el apoyo de software especializado para cada cultivo, cada región y condición de humedad se estimaron los rendimientos potenciales.

Requerimientos hídricos. El balance se realizó utilizando la metodología de Thornthwaite (Dunne, 1978) modificada versión III. El sistema incluye la aplicación del concepto del balance hídrico que consiste en la relación entre el agua aportada por la precipitación y la requerida por la vegetación en sus funciones de evaporación y transpiración. El método y el software que lo acompaña permiten estimar los requerimientos hídricos de las plantas producidas bajo esquemas de riego. Se incorporó entonces al estimado actual los escenarios de cambio climático para obtener una medida de cambio y así estar en condiciones de evaluar el impacto.

### **3. RESULTADOS**

**Aptitudes actuales y futuras.** Se consultó con SAGARPA y con SIAP para la selección de cultivos de importancia para México. El resultado fueron 16 cultivos, por su importancia económica, de superficie sembrada o personas dedicadas. Los cultivos son: aguacate, café, caña de azúcar, chile, frijol, jitomate, limón, maíz forrajero, maíz grano, mango, manzana, naranja, plátano, papa, sorgo y trigo. Para cada cultivo se obtuvo, a nivel nacional escenarios de 5 modelos, 2 concentraciones y 1 horizonte de tiempo (figura 1).

Algunos resultados muestran que el grado de aptitud para las condiciones actuales varía considerablemente entre los cultivos, el maíz es el que presenta mayor proporción de las tierras agrícolas con algún grado de aptitud con 81.59%, seguido del sorgo con 61.54% y con proporciones considerablemente menores están el trigo con 26.95% y la papa con 24.95%. El **maíz** disminuye al 61.22%, 53.81% y 60.50% en el RCP 4.5 y 63.33%, 60.66% y 55.16% en el RCP 8.5 para los modelos GFDL, HADGEM y REA, respectivamente. El **trigo** disminuye a 15.59%, 17.25% y 16.63% en el RCP 4.5 y 17.11%, 17.20% y 16.60% en el RCP 8.5 para los modelos GFDL, HADGEM y REA, respectivamente. La **papa** disminuye a 18.87%, 19.42% y 16.93% en el RCP 4.5 y 21.00%, 22.05% y 16.73% en el RCP 8.5 para los modelos GFDL, HADGEM y REA, respectivamente. El **sorgo** aumenta la superficie con algún grado de aptitud en el modelo GFDL a 65.58% y 63.23% para los RCP de 4.5 y 8.5, respectivamente y también aumenta en el modelo HADGEM para el RCP de 8.5 a

62.14%, para el modelo REA disminuye la superficie con aptitud en los dos RCP a 53.98% y 55.16% para 4.5 y 8.5, respectivamente (Gómez 2020).

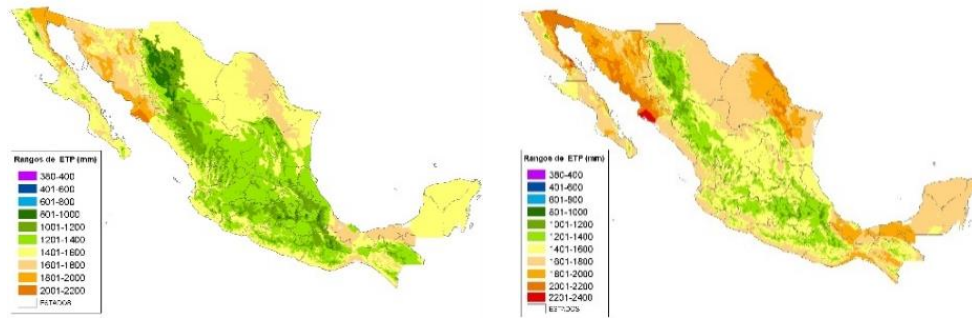


Fig. 1: Rangos de ETP para escenario base (izquierda) y escenario según HADGEM RCP8.5 (derecha). Fuente: elaboración propia.

**Periodo de crecimiento.** FAO que define el periodo de crecimiento como el número de días donde se tiene precipitación superior a la mitad de la evapotranspiración potencial. La actividad consistió en aplicar el concepto para el escenario base, así como para los escenarios de cambio climático, teniendo que realizar una base de datos para su manipulación (figura 2).

Los resultados muestran que se espera que la ETP aumente prácticamente en todo el territorio nacional como consecuencia del incremento generalizado de la temperatura y la disminución de la humedad relativa. Las clases de ETP menores de 1000 mm anuales disminuirán, mientras que las mayores a 1000 mm aumentarán en promedio 20% en el horizonte medio (2040-2069) y casi 50% hacia el horizonte lejano (2070-2099). Al considerar el cambio climático en el PECRE por estado, se observó que en tres de ellos (Baja California Sur, Coahuila y San Luis Potosí) no habría cambio respecto a las condiciones actuales. En el resto de los estados se reducirá el PECRE debido a una combinación de cambio en el inicio y el final del periodo de crecimiento. Los estudios cartográficos permiten realizar el análisis espacial de los resultados, mismos que deben integrarse en la planificación del uso agrícola del agua (Monterroso y Gómez 2021).

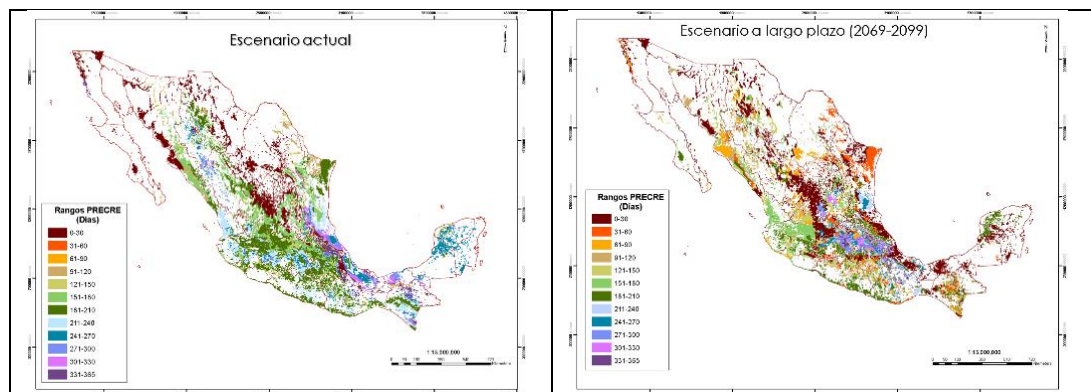


Fig. 2. Rangos de periodo de crecimiento (PECRE) para escenario base (izquierda) y escenario futuro MPI-ECHAM RCP8.5 al 2100 (derecha). Fuente: elaboración propia.

**Rendimientos futuros de algunos cultivos.** Se consideró una estación meteorológica como punto de partida, siempre y cuando estuviera ubicada en municipios que reportaran por SIAP la producción de un cultivo. Además, se buscó que cada cultivo tuviera al menos 3 repeticiones, representativos de los grupos climáticos o regiones del país. De ahí, se consideraron 35 estaciones meteorológicas representativas para los 16 cultivos. Para cada estación meteorológica se trabajó en obtención, procesamiento y captura de información climática (temperatura máxima, mínima, lluvia, evapotranspiración, humedad relativa, viento). Los rendimientos se aplicaron para al menos 10 años conocidos (años 2000 al 2010 en la mayoría de las estaciones) y toda vez que los resultados modelados fueron calibrados con los observados se procedió a reemplazar los valores climáticos por aquellos con escenarios de cambio climático (Tabla 1).

Los resultados muestran decrementos en los rendimientos de la mayoría de los estudios de caso, como consecuencia de una disminución en la cantidad y distribución de la precipitación. El rendimiento de maíz en climas cálidos y secos podría disminuir hasta en 84% respecto al escenario base según los escenarios más severos. El frijol podría tener decrementos de 10 a 40% en el norte del país, mientras que en la zona noroeste se prevé un rendimiento del trigo 15% menor. La soya podría beneficiarse, con incrementos de 15 a 40%. Respecto del sorgo y la papa se esperarían decrementos generalizados para todos los estudios de caso, mientras que la cebada tendría incrementos y decrementos según la zona de estudio (Arce et al., 2020).

		CEBADA Tlaixpan	FRIJOL Tecomán	MAIZ Chapingo	MAIZ Cuencamé	FRIJOL Sombrerete	SORGO González	TRIGO Navojoa
BASE (1995-2011)		2.250	1.459	2.825	0.740	0.660	1.881	5.298
-GFDL	RCP	2.484	0.342	0.000	0.290	0.168	2.504	6.327
-HADGEM	4.5	2.500	0.301	0.000	0.710	0.265	1.260	5.966
-MPI		3.522	0.094	0.019	0.360	0.217	2.556	6.197
-GFDL	RCP	2.312	0.588	0.000	0.300	0.181	2.524	5.955
-HADGEM	8.5	1.379	0.419	0.000	0.460	0.276	1.944	5.902
-MPI		2.880	0.130	0.000	0.380	0.240	2.297	6.128

*Tabla 1. Rendimientos modelados (ha) para diversos cultivos. Fuente: elaboración propia.*

**Regímenes de humedad del suelo.** El 38.8% de los suelos del país tienen régimen Aridic, menos del 1% Xeric, el 36.4% Ustic y 24.1% Udic. Para el RCP de 4.5, en los modelos HADGEM y MPI se prevé que se dé un incremento considerable en el déficit hídrico en los suelos. En el Modelo GFDL se presenta esta tendencia, pero en proporciones menores. En el RCP 8.5 W/m<sup>2</sup>, en el modelo GFDL se estima una disminución de la superficie con mayor estrés hídrico, con incrementos de la superficie de regímenes de humedad intermedios y un decremento en la superficie de los más húmedos. El modelo HADGEM es el que presenta mayores diferencias entre los dos RCP con mayores incrementos de la superficie con regímenes secos e intermedios y mayor disminución en la superficie con regímenes más húmedos. Para el modelo MPI no se presentan variaciones considerables entre los dos RCP. En general hay una tendencia marcada en el incremento del estrés hídrico en los suelos del país y un desplazamiento hacia regímenes más secos en todas las clases, con mayor proporción en los modelos HADGEM y MPI (figura 3).

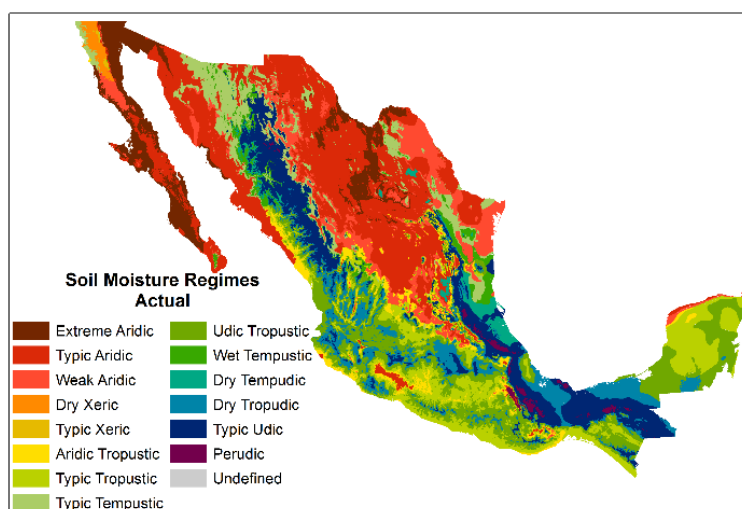


Fig. 3. Regímenes de humedad de los suelos de México para las condiciones promedio. Fuente: elaboración propia.

Estudios relacionados a la humedad en los suelos y su disponibilidad para el cultivo de plantas se han realizado diferentes estudios a nivel de cultivos específicos, así como otros de balances hídricos para estimar la disponibilidad de humedad para las plantas a nivel de cuenca en México como el de Lucio (2006) que utilizó los métodos de Thornthwaite, Penman y Turc así como el método racional con escenarios de cambio climático, reportando que en el balance global se prevé un déficit de humedad en la cuenca. En este mismo sentido, Gaviño (2010) utilizó el método SWAT para determinar el balance hídrico de una cuenca en Coahuila, utilizando escenario base y dos escenarios de cambio climático y sus resultados reportan un posible déficit de agua por 200 mm anuales para el año 2080. Destouni y Verrot (2014) estudiaron balances de humedad en el suelo, hacia su parte insaturada y saturada a lo largo del siglo XX en periodos de 20 años en una cuenca de Suecia y sus resultados muestran que se registró un incremento en la frecuencia de eventos de sequía, lo que indica un incremento en el riesgo de afectaciones a sectores agropecuarios y de vegetación natural.

La sequía también es un fenómeno que tiene impactos adversos en los humanos y en los ecosistemas (Rhee & Carbone, 2011). Es una característica del clima y es diferente a la aridez (Wilhite & Buchanan-Smith, 2005) dado que es una deficiencia en la precipitación relativa con respecto a la que se espera (normal), que cuando se extiende en una estación o un periodo más largo de tiempo resulta en la incapacidad de satisfacer las demandas de agua en las actividades humanas y en el medio ambiente (Hayes et al., 2001). En los últimos años, la sequía ha adquirido una gran relevancia por los daños que ocasiona, que con frecuencia superan en magnitud a los que producen otros fenómenos hidrometeorológicos, y se torna más amenazador por el calentamiento atmosférico asociado al cambio global, entre cuyas secuelas el aumento en la frecuencia de sequías en determinadas zonas del planeta (IPCC, 2014), es uno de los más serios problemas que enfrentará la humanidad, en especial los países ubicados en las zonas subtropicales, donde los altos niveles de radiación solar y

evaporación se combinan con escasas precipitaciones y favorecen la recurrencia de periodos prolongados de sequía en áreas extensas.

Por otro lado, en el último reporte del IPCC (2022) señala que en todos los escenarios de emisiones evaluados, las proyecciones indican que la temperatura de la superficie continuara aumentando a lo largo del siglo XXI y que es muy probable que las ondas de calor ocurran con mayor frecuencia y duren más, asimismo, los episodios de precipitación extrema sean más intensos y frecuentes en muchas regiones así como la frecuencia y severidad de sequías en otras regiones. Existen opciones de adaptación en todos los sectores, pero su contexto para la implementación y el potencial para disminuir los riesgos relacionados con el clima es diferente entre los distintos sectores y regiones. El cambio climático pondrá más presión sobre la calidad del suelo y aumentará el riesgo de la desertificación y de degradación de los suelos, esto ya está afectando varias regiones de nuestro país y se espera que en el futuro cercano estas se intensifiquen (Gómez-Díaz & Monterroso-Rivas, 2008). Por la importancia que tienen el suelo en la salud de los ecosistemas y en la producción de alimentos, es muy relevante que en México se cuenta con indicadores que permitan evaluar y monitorear el estado que guardan los suelos, así como los cambios asociados al cambio climático, como base para el establecimiento de programas de adaptación al cambio climático para mantener o incrementar la capacidad productiva de los mismos.

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Suelos.

## **REFERENCIAS**

- Abedinpour, M., Sarangi, A., Rajput, T. B. S., Singh, M., Pathak, H., & Ahmad, T. (2012). Performance evaluation of AquaCrop model for maize crop in a semi-arid environment. *Agricultural Water Management*, 110, 55–66. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2012.04.001>
- Allen, R., Pereira, L., Raes, D., & Smith, M. (2006). Introducción a la evapotranspiración del cultivo. En Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Estudio FAO Riego y Drenaje #56.
- Arce-Romero A.R., Monterroso-Rivas A.I., Gómez-Díaz J.D., Palacios-Mendoza M.A., Navarro-Salas, E.N., López-Blanco J., y Conde-Álvarez A.C. 2020. Crop yield simulations in Mexican agriculture for climate change adaptation. *Atmósfera* 33(3): 215-231 <https://doi.org/10.20937/ATM.52430> (ISSN 2395-8812)
- Dunne, T. (1978). *Water in environmental planning*. W. H. Freeman and Co.
- Foley, J.A.; Ramankutty, N.; Brauman, K.A.; Cassidy, E.S.; Gerber, J.S.; Johnston, M.; Mueller, N.D.; O’Connell, C.; Ray, D.K.; West, P.C.; et al. Solutions for a Cultivated Planet. *Nature* 2011, 478, 337–342, doi:10.1038/nature10452.
- Holt-Giménez, E.; Shattuck, A.; Altieri, M.; Herren, H.; Gliessman, S. We Already Grow Enough Food for 10 Billion People and Still Can’t End Hunger. *Journal of Sustainable Agriculture* 2012, 36, 595–598, doi:10.1080/10440046.2012.695331.
- México-CICC. 2018. México: Sexta Comunicación Nacional y Segundo Informe Bienal de Actualización ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el

Cambio Climático. INECC (ed.) México, INECC. 738 p. No. 6. Disponible en <http://cambioclimatico.gob.mx:8080/xmlui/handle/publicaciones/117>

México-INECC. 2015. Compromisos de Mitigación y Adaptación ante el Cambio Climático para el Periodo 2020-2030 (INDC intended Nationally Determined Contribution 2020-2030). INECC (ed.). Ciudad de México, México, Disponible en [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/162974/2015\\_indc\\_esp.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/162974/2015_indc_esp.pdf)

Monterroso-Rivas A. I., y Gómez-Díaz, J. D. 2021. Impacto del cambio climático en la evapotranspiración potencial y periodo de crecimiento en México. *Terra Latinoamericana* 39(1-19):e774 <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.774> (ISSN: 2395 – 8030; Printed ISSN: 1870-9982)

Rockström, J; Steffen, W; Noone, K; Persson, Å; Chapin, FS; Lambin, E; Lenton, TM; Scheffer, M; Folke, C; Schellnhuber, B; Nykvist, B; Wit, CAD; Hughes, T; Leeuw, Svd; Rodhe, H; Sörlin, S; Snyder, PK; Costanza, R; U. Svedin; M. Falkenmark, LK, R. W. Corell, V. J. Fabry, J. Hansen, B. Walker, D. Liverman, K. Richardson, P. Crutzen, and J. Foley. 2009. Planetary boundaries: exploring the safe operating space for humanity. *Ecology and Society* 14(2:32): doi <http://www.ecologyandsociety.org/vol14/iss2/art32>

SEMARNAT-INECC. 2015. Elementos Mínimos Para La Elaboración de Los Programas de Cambio Climático de Las Entidades Federativas; Ciudad de México, México.

Steffen, W; Richardson, K; Rockström, J; Cornell, SE; Fetzer, I; Bennett, EM; Biggs, R; Carpenter, SR; De Vries, W; De Wit, CA. 2015. Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet *Science* 347(6223):1259855.