

Respuesta Inicial de los Almacenes de Carbono y Nitrógeno en Suelos Áridos tras la Exclusión Del Pastoreo

Initial Response of Carbon and Nitrogen Stocks in Arid Soils Following Exclusion of Grazing

Erika Nava-Reyna¹, Erickson Basave-Villalobos², Vicenta Constante-García¹, Jesús Arcadio Muñoz-Villalobos³, Ignacio Sánchez-Cohen¹

¹Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias CENID-RASPA, Km. 6.5 margen derecha Canal de Sacramento, C.P. 35079, Gómez Palacio, Durango, México.

²INIFAP, CIRNOC – C.E. Valle del Guadiana, Km 4.5 Carretera Durango-El Mezquital C.P. 34170, Durango, Dgo., México.

³INIFAP, CIRNOC- C.E. Delicias, Km 2 Carretera Delicias-Rosales, Centro, C.P. 33000, Delicias, Chihuahua.

*Autor para correspondencia: nava.erika@inifap.gob.mx

RESUMEN

El sobrepastoreo es una de las principales causas de degradación de suelo, más aún en zonas áridas. La sucesión natural de plantas derivada del abandono o la exclusión de suelos degradados ha demostrado ser fundamental para su restauración, donde los pastos y bosques secundarios pueden combatir la erosión del suelo y recuperar sus servicios ambientales, incluido el secuestro de carbono y el almacén de nitrógeno. Por lo anterior, el presente estudio tuvo como objetivo evaluar el impacto a corto plazo de la exclusión de pastoreo en suelos degradados de zonas áridas sobre los almacenes de C y N, muestreando tres áreas con diferente grado de degradación: un área natural sin disturbios aparentes con *Prosopis glandulosa* (conservado), una zona degradada por sobrepastoreo y un área restaurada con exclusión de pastoreo por 7 meses. Los resultados demostraron que el grado de degradación afecta los almacenes de CT y NT, pero no se detectaron cambios por la exclusión de pastoreo en comparación con los suelos degradados, debido probablemente al lapso de tiempo. Por lo anterior, se recomienda continuar el monitoreo cinético de los sitios y buscar indicadores de rápida respuesta de la calidad del suelo.

Palabras clave: restauración de suelos, sobrepastoreo, zonas áridas, calidad de suelo, secuestro de carbono en el suelo

ABSTRACT

Overgrazing is one of the main causes of soil degradation, even more so in arid lands. The natural succession of plants resulting from the abandonment or exclusion of degraded soils has proven to be essential for their restoration, where pastures and secondary forests can combat soil erosion and recover their environmental services, including carbon sequestration and nitrogen storage. Therefore, the present study aimed to evaluate the short-term impact of grazing exclusion in degraded soils in arid areas on C and N stores, sampling three areas with different degrees of degradation: a natural area with no apparent disturbances with *Prosopis glandulosa* (conserved), an area degraded by overgrazing and a restored area with grazing exclusion for 7 months. The results showed that the degree of degradation affects CT and NT stores, but no changes are detected by grazing exclusion compared to degraded soils, probably due to the time-lapse. For the above reasons, it is recommended that the sites be continuously monitored and exploring other response indicators of soil quality.

Keywords: soil restoration, overgrazing, arid lands, soil quality, soil carbon sequestration.

INTRODUCCIÓN

Los suelos juegan un papel fundamental en el ciclo global del carbono, almacenando hasta 1,700 Gt de C, más del doble de lo almacenado por la vegetación y la atmósfera (450 GtC y 875 GtC, respectivamente) (Friedlingstein et al., 2021), por lo que cualquier cambio en el almacén de carbono en el suelo puede influenciar significativamente la concentración de dióxido de carbono atmosférico (Stockmann et al., 2013). En este sentido, los pastizales y bosques juegan un papel crucial en el secuestro de carbono y otros servicios ecosistémicos (McSherry & Ritchie, 2013), incluida la mitigación del cambio climático (Hammad et al., 2020; Lorenz & Lal, 2018). No obstante, las actividades antropogénicas, incluido el cambio de uso de suelo y las actividades agropecuarias, han generado una alta erosión del suelo a nivel mundial, disminuyendo el almacén de C (Lal, 2004).

Dentro las actividades que afectan significativamente el almacén de C en el suelo se encuentran el pastoreo (Lu et al., 2017), generando la emisión de C y, por lo tanto, una disminución dramática de su almacén en el suelo (Abdalla et al., 2018; Chaplot et al., 2016), cuya magnitud depende de diferentes variables, incluidas las condiciones climáticas y el tipo de suelo. Así, de acuerdo con el metaanálisis de (Dlamini et al., 2016), los suelos de zonas áridas pierden el doble del carbono orgánico del suelo de zonas húmedas (16 y 8%, respectivamente), siendo Asia el continente más afectado.

Estudios a largo plazo en diferentes usos de suelo han demostrado el potencial de secuestro de C en suelos cuando se establecen buenas prácticas de manejo, ya sea suelos de cultivo, erosionados o abandonados (Contreras-Cisneros et al., 2022; D. Li et al., 2012; Y. Li et al., 2018; Nosetto et al., 2006). Mas aún, diversas investigaciones han confirmado un incremento en la vegetación cuando se abandonan o excluyen suelos agropecuarios, debido a la sucesión natural de la vegetación (Bai et al., 2009; Khorchani et al., 2021), donde los pastos y bosques secundarios tienen el potencial de restaurar el ecosistema, combatiendo su erosión, disminuyendo los escurrimientos y pérdida de suelo y secuestrando carbono (Khorchani et al., 2021; Kurganova et al., 2019; Yang et al., 2020) (Abdallah et al., 2020). Además, la sucesión de la vegetación también afecta el almacén de nitrógeno en el suelo, derivado del incremento

tanto en la biomasa como en la diversidad de las plantas (Yang et al., 2020). No obstante, otros estudios no han encontrado ningún efecto de la conversión de pastizales a bosques sobre el N y el C del suelo (Abdallah et al., 2020), por lo que la influencia de la recuperación de suelos abandonados o excluidos por la sucesión natural de la vegetación es aún incierta y parece estar influido por diversos factores ambientales.

Por lo anterior, la presente investigación tuvo como objetivo evaluar el impacto a corto plazo de la exclusión de pastoreo en suelos degradados de zonas áridas sobre los almacenes de C y N.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del sitio de estudio

El presente estudio se llevó a cabo en el ejido La Purísima en Mapimí, Durango (Tabla 1). El municipio de Mapimí se encuentra en una cuenca endorreica con una precipitación media anual de 313.4 y una altitud promedio de 1100 m rodeada de montañas de 1400 m. El clima es muy árido y la temperatura generalmente varía de 6 °C a 34 °C.

Tabla 1. Descripción de las zonas de estudio.

Clave	Descripción	Coordenadas
Res	Área restaurada por exclusión de pastoreo con 7 meses de antigüedad al momento del muestreo	25°51'14"N, 103°45'8"O
Con	Área natural sin disturbios aparentes con <i>Prosopis glandulosa</i>	25°50'49"N 103°45'0"O
Deg	Zona degradada por sobrepastoreo	25°51'16"N 103°45'9"O

Toma y manejo de las muestras

Para evaluar la influencia de la exclusión de pastoreo, se tomaron 3 muestras de suelo al azar de 0-20 cm de cada tratamiento para hacer una muestra compuesta del suelo por tratamiento. Las muestras fueron secadas al aire y tamizadas por 0.5 mm.

Determinación de carbono y nitrógeno total en el suelo

El contenido de carbono orgánico total (CT) y nitrógeno total (NT) en el suelo de los distintos tratamientos, se evaluó a través de combustión seca en un analizador elemental (Elementar modelo Vario Micro Cube). Los almacenes de CT y CT (Mg C ha⁻¹) se calcularon con la ecuación siguiente (Fan et al., 2014):

$$\text{Almacén de CT (NT)} = \text{CT(NT)} \times \text{BD} \times D \times 10$$

Donde CT y NT es la concentración de carbono y nitrógeno total (g C kg^{-1} de suelo), respectivamente, BD es la densidad aparente (Mg m^{-3}), D es la profundidad del suelo (0.2 m) y 10 es un factor para ajustar las unidades.

Análisis estadístico

Las bases de datos fueron analizadas con una prueba de normalidad de Shapiro-Wilk al 95% de confianza y el análisis de homogeneidad de varianzas utilizando el programa IBM SPSS Statistics. Dado que los datos cumplieron ambos supuestos, se realizó un análisis de ANOVA de una vía al 95% de confianza.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados del almacén de carbono en los suelos degradado, restaurado y conservado en el sitio de estudio se encuentran en la Figura 1. De acuerdo con lo obtenido, el grado de degradación del suelo tuvo una influencia significativa en el almacén de carbono ($F=85.897$, $p<0.001$), donde los suelos del mezquital nativo conservado presentaron un mayor nivel de C almacenado que los otros dos tratamientos, por lo que la exclusión de pastoreo no reflejó cambios en el almacén de C en el corto plazo.

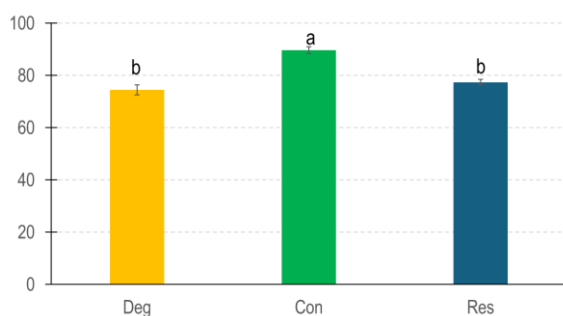


Figura 1. Almacén de carbono en suelos bajo diferente uso de suelo y grado de degradación: Deg – degradado por sobrepastoreo; Con – Mezquital conservado; Res – Restaurado por exclusión de pastoreo. Las barras seguidas por la misma letra para una fracción dada no son diferentes significativamente ($P<0.05$).

Aunque no se tuvo aún diferencia estadística, se pudo observar un ligero aumento en el almacén de C en los suelos restaurados con exclusión de pastoreo en comparación con el suelo degradado. Este resultado concuerda con la investigación de (Roa-Fuentes et al., 2015), quienes reportaron que la exclusión del pastoreo plantando además semillas de árboles incrementó el almacén de N y

P, pero no afectó el C y N. En la investigación de Gebregergs et al. (2019), no se encontró un incremento en el almacén de C después de 5 años de exclusión de pastoreo en comparación a suelos pastoreados, tomando hasta 10 años para reflejarse. Aunque el almacén de COS es el principal indicador de la calidad del suelo por su restauración, el efecto puede notarse en el mediano y largo plazo (Allen et al., 2010). Más aún, existe un entendimiento deficiente de como el cambio del almacén de C en el suelo es influenciado por factores como el clima, el uso de suelo, su manejo y factores edáficos (Stockmann et al., 2013), lo que vuelve complejo su monitoreo (Smith et al., 2020). Además, las grandes reservas de fondo, la variabilidad espacial y temporal y la lenta ganancia de C en el suelo dificultan la detección de los cambios a corto plazo en las reservas de C (entre 3-5 años) (Post et al., 1998). De acuerdo con Barré et al. (2017), los cambios derivados del manejo del suelo y las condiciones climáticas a corto y mediano plazo en el contenido de C en el suelo completo (C asociado a arena, limo y arcillas) puede no ser tan conveniente como el C asociado a partículas minerales finas (limo y arcilla), considerado uno de los mecanismos de estabilización del carbono orgánico del suelo (COS) más importantes para los suelos minerales (Six et al., 2002). Por lo tanto, es necesario continuar con el monitoreo a través del tiempo para determinar su tiempo de respuesta y evaluar otros indicadores de calidad del suelo de rápida respuesta como el carbono lábil o la fracción ligada a partículas minerales finas.

Por otro lado, el almacén de nitrógeno en el suelo también fue afectado significativamente por el grado de degradación del suelo ($F=20.951$, $p=0.002$), registrando un mayor nivel en los suelos conservados (Figura 2) en relación a los suelos degradado y restaurado.

La exclusión de pastoreo, mediante el cambio en la cantidad y calidad del mantillo y la rizodeposición, facilita la estabilización de la materia orgánica del suelo (MOS) y, consecuentemente, influye en la dinámica del C, N, P, entre otros elementos. No obstante, su impacto tarda en verse reflejado, más aún en zonas áridas. Asimismo, se ha reportado que la dinámica del almacén de NT puede limitar la acumulación de C en el suelo durante la recolonización de la vegetación en ecosistemas naturales terrestres (Lehmann & Kleber, 2015; D. Li et al., 2012), ya que el N influencia la

descomposición de la MOS (Crowther et al., 2019)). No obstante, existe una limitada evaluación de las respuestas del almacén de C y otros nutrientes en sistemas de pastoreo (Li et al., 2022). Además, al excluir el pastoreo se corta la entrada de N a través de las deposiciones de orina, una importante fuente de N mineral en esos agroecosistemas (Taboada et al., 2015). Li et al. (2018) encontraron un incremento en el almacén de NT en suelos bajo exclusión de pastoreo a los 3, 6, 9 y 11 años, derivado probablemente a una mayor incorporación de MOS por la vegetación y el mantillo durante las etapas iniciales, mientras que 6 años después se asocia a una menor tasa en la descomposición de la MOS. Así, el hecho de que no se diferencié estadísticamente la cantidad del almacén de NT en esta investigación pudo relacionarse con el tiempo de exclusión de la zona, ya que al momento del muestreo fue de 7 meses, lo cual pudo ser insuficiente para reflejar cambios en el NT y requiere ser medido a través del tiempo para detectarse.

El grado de degradación por el uso de suelo tuvo influencia en el almacén de CT y NT. No obstante, los cambios derivados por la exclusión de pastoreo requieren más tiempo de monitoreo para poder ser detectados, por lo cual se sugiere continuar el monitoreo cinético y la evaluación de otros indicadores de calidad de suelo de rápida respuesta.

AGRADECIMIENTOS

Este proyecto fue financiado por el fondo de Proyectos Fiscales del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias 2023-1 titulado “Recuperación de la funcionalidad de suelos degradados bajo diferentes Estrategias en ecosistemas áridos y templados del norte de México”, No. SIGI: 2-1.6-8295235642-M-M.2-2.

LITERATURA CITADA

Abdalla, K., Mutema, M., Chivenge, P., Everson, C., & Chaplot, V. (2018). Grassland degradation significantly enhances soil CO₂ emission. *CATENA*, 167, 284–292. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.05.010>

Abdallah, M. A. B., Mata-González, R., Noller, J. S., & Ochoa, C. G. (2020). Ecosystem carbon in relation to woody plant encroachment and control: Juniper systems in Oregon, USA. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 290, 106762.

<https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.106762>

Allen, D. E., Pringle, M. J., Page, K. L., & Dalal, R. C. (2010). A review of sampling designs for the measurement of soil organic carbon in Australian grazing lands. *The Rangeland Journal*, 32(2), 227. <https://doi.org/10.1071/RJ09043>

Bai, Y., Colberg, T., Romo, J. T., McConkey, B., Pennock, D., & Farrell, R. (2009). Does expansion of western snowberry enhance ecosystem carbon sequestration and storage in Canadian Prairies? *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 134(3–4), 269–276. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2009.07.009>

Barré, P., Angers, D. A., Basile-Doelsch, I., Bispo, A., Cécillon, L., Chenu, C., Chevallier, T., Derrien, D., Eglin, T. K., & Pellerin, S. (2017). Ideas and perspectives: Can we use the soil carbon saturation deficit to quantitatively assess the soil carbon storage potential, or should we explore other strategies? <https://doi.org/10.5194/bg-2017-395>

Chaplot, V., Dlamini, P., & Chivenge, P. (2016). Potential of grassland rehabilitation through high density-short duration grazing to sequester atmospheric carbon. *Geoderma*, 271, 10–17. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.02.010>

Contreras-Cisneros, A. J., Mata-González, R., Trejo-Calzada, R., Pedroza-Sandoval, A., Prado-Tarango, D., & Abdallah, M. A. B. (2022). Carbon and nitrogen stocks through time in abandoned croplands of the Comarca Lagunera, Mexico. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 327, 107828. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107828>

Crowther, T. W., Riggs, C., Lind, E. M., Borer, E. T., Seabloom, E. W., Hobbie, S. E., Wubs, J., Adler, P. B., Firn, J., Gherardi, L., Hagenah, N., Hofmockel, K. S., Knops, J. M. H., McCulley, R. L., MacDougall, A. S., Peri, P. L., Prober, S. M., Stevens, C. J., & Routh, D. (2019). Sensitivity of global soil carbon stocks to combined nutrient enrichment. *Ecology Letters*, 22(6), 936–945. <https://doi.org/10.1111/ele.13258>

Dlamini, P., Chivenge, P., & Chaplot, V. (2016). Overgrazing decreases soil organic carbon

- stocks the most under dry climates and low soil pH: A meta-analysis shows. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 221, 258–269. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.01.026>
- Friedlingstein, P., Jones, M. W., O'Sullivan, M., Andrew, R. M., Bakker, D. C. E., Hauck, J., Le Quéré, C., Peters, G. P., Peters, W., Pongratz, J., Sitch, S., Canadell, J. G., Ciais, P., Jackson, R. B., Alin, S. R., Anthoni, P., Bates, N. R., Becker, M., Bellouin, N., ... Zeng, J. (2021). Global Carbon Budget 2021. <https://doi.org/10.5194/essd-2021-386>
- Gebregers, T., Tessema, Z. K., Solomon, N., & Birhane, E. (2019). Carbon sequestration and soil restoration potential of grazing lands under exclosure management in a semi-arid environment of northern Ethiopia. *Ecology and Evolution*, 9(11), 6468–6479. <https://doi.org/10.1002/ece3.5223>
- Hammad, H. M., Fasihuddin Nauman, H. M., Abbas, F., Ahmad, A., Bakhat, H. F., Saeed, S., Shah, G. M., Ahmad, A., & Cerdà, A. (2020). Carbon sequestration potential and soil characteristics of various land use systems in arid region. *Journal of Environmental Management*, 264, 110254. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110254>
- Khorchani, M., Nadal-Romero, E., Lasanta, T., & Tague, C. (2021). Effects of vegetation succession and shrub clearing after land abandonment on the hydrological dynamics in the Central Spanish Pyrenees. *CATENA*, 204, 105374. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105374>
- Kurganova, I., Merino, A., Lopes de Gerenyu, V., Barros, N., Kalinina, O., Giani, L., & Kuzyakov, Y. (2019). Mechanisms of carbon sequestration and stabilization by restoration of arable soils after abandonment: A chronosequence study on Phaeozems and Chernozems. *Geoderma*, 354, 113882. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.113882>
- Lal, R. (2004). Soil carbon sequestration to mitigate climate change. *Geoderma*, 123(1–2), 1–22. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.01.032>
- Lehmann, J., & Kleber, M. (2015). The contentious nature of soil organic matter. *Nature*, 528(7580), 60–68. <https://doi.org/10.1038/nature16069>
- Li, D., Niu, S., & Luo, Y. (2012). Global patterns of the dynamics of soil carbon and nitrogen stocks following afforestation: a meta-analysis. *New Phytologist*, 195(1), 172–181. <https://doi.org/10.1111/J.1469-8137.2012.04150.X>
- Li, J., Wang, K., Shangguan, Z., & Deng, L. (2022). Coupling and decoupling of soil carbon, nitrogen and phosphorus stocks following grazing exclusion in temperate grasslands. *CATENA*, 211, 106003. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.106003>
- Li, W., Liu, Y., Wang, J., Shi, S., & Cao, W. (2018). Six years of grazing exclusion is the optimum duration in the alpine meadow-steppe of the north-eastern Qinghai-Tibetan Plateau. *Scientific Reports*, 8(1), 17269. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-35273-y>
- Li, Y., Chang, S. X., Tian, L., & Zhang, Q. (2018). Conservation agriculture practices increase soil microbial biomass carbon and nitrogen in agricultural soils: A global meta-analysis. In *Soil Biology and Biochemistry* (Vol. 121, pp. 50–58). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.02.024>
- Lorenz, K., & Lal, R. (2018). Carbon Sequestration in Grassland Soils. In *Carbon Sequestration in Agricultural Ecosystems* (pp. 175–209). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-92318-5_4
- Lu, X., Kelsey, K. C., Yan, Y., Sun, J., Wang, X., Cheng, G., & Neff, J. C. (2017). Effects of grazing on ecosystem structure and function of alpine grasslands in Qinghai-Tibetan Plateau: a synthesis. *Ecosphere*, 8(1). <https://doi.org/10.1002/ecs2.1656>
- McSherry, M. E., & Ritchie, M. E. (2013). Effects of grazing on grassland soil carbon: a global review. *Global Change Biology*, 19(5), 1347–1357. <https://doi.org/10.1111/gcb.12144>
- Nosetto, M. D., Jobbágy, E. G., & Paruelo, J. M. (2006). Carbon sequestration in semi-arid rangelands: Comparison of *Pinus ponderosa* plantations and grazing

- exclusion in NW Patagonia. *Journal of Arid Environments*, 67(1), 142–156. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2005.12.008>
- Post, W. M., Izaurrealde, R. C., Mann, L. K., & Bliss, N. (1998). Monitoring and verifying soil organic carbon sequestration. In *Carbon Sequestration in Soils: Science, Monitoring, and Beyond*, Proceedings of the St. Michaels Workshop (1st ed., Vol. 1, pp. 41–66). Battelle Press.
- Roa-Fuentes, L. L., Martínez-Garza, C., Etchevers, J., & Campo, J. (2015). Recovery of Soil C and N in a Tropical Pasture: Passive and Active Restoration. *Land Degradation & Development*, 26(3), 201–210. <https://doi.org/10.1002/LDR.2197>
- Six, J., Conant, R. T., Paul, E. A., & Paustian, K. (2002). Stabilization mechanisms of soil organic matter: Implications for C-saturation of soils. *Plant and Soil*, 241, 155–176.
- Smith, P., Soussana, J., Angers, D., Schipper, L., Chenu, C., Rasse, D. P., Batjes, N. H., van Egmond, F., McNeill, S., Kuhnert, M., Arias-Navarro, C., Olesen, J. E., Chirinda, N., Fornara, D., Wollenberg, E., Álvaro-Fuentes, J., Sanz-Cobena, A., & Klumpp, K. (2020). How to measure, report and verify soil carbon change to realize the potential of soil carbon sequestration for atmospheric greenhouse gas removal. *Global Change Biology*, 26(1), 219–241. <https://doi.org/10.1111/gcb.14815>
- Stockmann, U., Adams, M. A., Crawford, J. W., Field, D. J., Henakaarchchi, N., Jenkins, M., Minasny, B., McBratney, A. B., Courcelles, V. de R. de, Singh, K., Wheeler, I., Abbott, L., Angers, D. A., Baldock, J., Bird, M., Brookes, P. C., Chenu, C., Jastrow, J. D., Lal, R., ... Zimmermann, M. (2013). The knowns, known unknowns and unknowns of sequestration of soil organic carbon. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 164, 80–99. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2012.10.001>
- Taboada, M. A., Rubio, G., & Chaneton, E. J. (2015). Grazing Impacts on Soil Physical, Chemical, and Ecological Properties in Forage Production Systems. In *Soil Management: Building a Stable Base for Agriculture* (pp. 301–320). Soil Science Society of America.
- Yang, Y., Hobbie, S. E., Hernandez, R. R., Fargione, J., Grodsky, S. M., Tilman, D., Zhu, Y.-G., Luo, Y., Smith, T. M., Jungers, J. M., Yang, M., & Chen, W.-Q. (2020). Restoring Abandoned Farmland to Mitigate Climate Change on a Full Earth. *One Earth*, 3(2), 176–186. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2020.07.019>