

Efecto del cambio climático sobre el microbioma de la rizosfera del suelo (CO₂ elevado)

Nombres y apellidos:

López Herazo Rafael Andrés
Código estudiantil: 201922216384

Montenegro Martínez Andrés Felipe
Código estudiantil: 201821696004

Natera solano Leonardo Emilio
Código estudiantil: 201922217190

Plata Rivera Alfredo José
Código estudiantil: 202112231819

Trabajo de Investigación del Programa de Microbiología

Tutor(es):

Rosado Porto David Javier

RESUMEN

En este estudio, se examinó el impacto del cambio climático, específicamente el aumento de dióxido de carbono (CO₂) atmosférico, en el microbioma de la rizosfera del suelo y su influencia en los ciclos biogeoquímicos. Se descubrió que el aumento de CO₂ afecta la estructura y actividad de la comunidad microbiana subterránea, lo cual es crucial debido al papel de las bacterias en los ciclos del carbono, nitrógeno, fósforo y azufre.

Se observó que el aumento de CO₂ promueve la fotosíntesis y el crecimiento de las plantas, pero también afecta la disponibilidad de nitrógeno y carbono fresco en el suelo. Esto puede acelerar la descomposición del carbono orgánico del suelo y reducir las reservas de carbono del suelo, un fenómeno conocido como "efecto cebado". Además, se encontró que el aumento

de CO₂ afecta la composición química de las hojas, aumentando los carbohidratos no estructurales y los compuestos de defensa, pero reduciendo la concentración de nitrógeno.

El estudio también resalta la importancia de los microorganismos de la rizosfera algunas especies son: *Pseudomonas putida*, *Bacillus subtilis*, *Penicillium bilaji*, y *Aspergillus niger*, ya que algunos pueden ser neutrales o patógenos para las plantas, mientras que otros promueven el crecimiento y la tolerancia al estrés. Se concluye que es necesario comprender cómo el cambio climático afecta a estos microorganismos y su papel en el medio ambiente.

El método utilizado fue una revisión bibliográfica en las bases de datos Scopus, Web of Science y Latindex, utilizando palabras clave relacionadas con el microbioma del suelo, cambio climático, CO₂ elevado y ciclos biogeoquímicos.

El metabolismo de las plantas C₃ se ve afectado por la fotorrespiración y la interacción con el microbioma de la rizosfera. La fotorrespiración devuelve una parte del CO₂ fijado a la atmósfera, mientras que el microbioma puede influir en la absorción de nutrientes y la respuesta al cambio climático.

Las plantas C₄ muestran respuestas diferentes al CO₂ elevado y la temperatura. El CO₂ alto beneficia la fotosíntesis en gramíneas C₃ y aumenta el costo energético de exportar carbohidratos, mientras que en gramíneas C₄, el aumento de temperatura favorece la tasa fotosintética. Las plantas C₄ se adaptan mejor a condiciones de sequía y altas temperaturas, y el CO₂ elevado reduce la transpiración y protege contra el estrés abiótico.

El aumento de CO₂ también afecta el ciclo del fósforo al reducir la demanda de las plantas y la actividad microbiana en el suelo, lo que puede llevar a la acumulación de fósforo. Además, puede aumentar la acidificación del suelo y del agua, afectando la solubilidad del fósforo y la calidad del agua.

En el ciclo del azufre, el aumento de CO₂ influye en la emisión de dióxido de azufre, la formación de aerosoles de sulfato y la fotosíntesis. Las actividades humanas liberan CO₂ y dióxido de azufre, que afectan el clima y la microbiología del suelo, y el CO₂ también puede influir en la transformación del azufre en el suelo.

En cuanto al ciclo del oxígeno, el aumento de los niveles de CO₂ puede reducir la disponibilidad de oxígeno en la rizosfera al aumentar la tasa de respiración microbiana. Esto puede afectar la respiración de las raíces de las plantas y la absorción de nutrientes, lo que a su vez puede reducir la productividad de las plantas. Además, el aumento de CO₂ puede alterar la composición de la comunidad microbiana en la rizosfera, afectando la capacidad del suelo para fijar nitrógeno y descomponer la materia orgánica.

La rizosfera es un entorno microbiano alrededor de las raíces de las plantas, donde se liberan compuestos orgánicos que alimentan a los microorganismos del suelo. Los altos niveles de CO₂ pueden aumentar la liberación de carbono en la rizosfera, lo que afecta la actividad

microbiana y el ciclo del carbono en el suelo. Esto también puede modificar la estructura del suelo y promover la formación de agregados, mejorando su estabilidad.

El aumento de CO₂ en la atmósfera tiene diversos efectos en la rizosfera y el ciclo del carbono. Puede alterar la composición microbiana y la disponibilidad de nutrientes, lo que afecta la productividad y la dinámica del carbono en el suelo. Factores como la composición del suelo y las especies vegetales influyen en estos efectos.

La liberación excesiva de CO₂ por actividades humanas sobrecarga la capacidad de las plantas para procesar este gas. Además, el mal manejo de los recursos naturales, la deforestación, la erosión del suelo y la degradación del terreno contribuyen a la liberación de CO₂, reduciendo el flujo de carbono hacia el suelo y aumentando las emisiones.

El incremento de CO₂ afecta la fisiología de las plantas, estimulando la fotosíntesis y mejorando el uso del agua. Sin embargo, también puede alterar la composición química de las plantas y afectar el ciclo hidrológico, lo que provoca cambios en las precipitaciones y aumenta la probabilidad de sequías e inundaciones.

Con esto, la investigación de revisión ha mostrado que el aumento de CO₂ en la rizosfera del suelo tiene efectos significativos en el microbioma y los ciclos biogeoquímicos. Las plantas C3, C4 y CAM responden de manera diferente a las concentraciones elevadas de CO₂, lo que afecta su metabolismo y la apertura de las estomas. Además, se ha demostrado que el ciclo del fósforo, azufre y oxígeno en la rizosfera puede ser alterado por el aumento de CO₂ ya que los microorganismos de interacciones entre las plantas CAM y sus asociados microbianos como son los géneros *Actinobacterias*, *Bacillus*, *Pseudomonas*. No obstante, se necesita más investigación para comprender completamente los mecanismos subyacentes y las interacciones involucradas. Factores como la calidad de la materia orgánica, el suministro de carbono a través de los exudados de las raíces y otros factores ambientales también influyen en la respuesta del microbioma rizosférico al CO₂ elevado. Esta comprensión más profunda puede ser útil para desarrollar estrategias de mitigación y adaptación frente al cambio climático en el futuro.

Palabras clave: CO₂, microbioma, rizosfera, raíces, plantas, cambio climático.

ABSTRACT

In this study, we examined the impact of climate change, specifically the increase in atmospheric carbon dioxide (CO₂), on the soil rhizosphere microbiome and its influence on biogeochemical cycling. Increased CO₂ was found to affect the structure and activity of the underground microbial community, which is crucial given the role of bacteria in the carbon, nitrogen, phosphorus and sulfur cycles.

It was observed that the increase in CO₂ promotes photosynthesis and plant growth, but also affects the availability of fresh nitrogen and carbon in the soil. This can speed up the breakdown of soil organic carbon and reduce soil carbon stocks, a phenomenon known as

the 'priming effect'. In addition, it was found that the increase in CO₂ affects the chemical composition of the leaves, increasing non-structural carbohydrates and defense compounds, but reducing the concentration of nitrogen.

The study also highlights the importance of rhizosphere microorganisms, some species are: *Pseudomonas putida*, *Bacillus subtilis*, *Penicillium bilaji*, and *Aspergillus niger*, since some may be neutral or pathogenic for plants, while others promote growth and tolerance to stress. It is concluded that it is necessary to understand how climate change affects these microorganisms and their role in the environment.

The method used was a bibliographic review in the Scopus, Web of Science and Latindex databases, using keywords related to the soil microbiome, climate change, elevated CO₂ and biogeochemical cycles.

The metabolism of C₃ plants is affected by photorespiration and interaction with the rhizosphere microbiome. Photorespiration returns a part of the fixed CO₂ to the atmosphere, while the microbiome can influence nutrient uptake and response to climate change.

C₄ plants show different responses to elevated CO₂ and temperature. High CO₂ benefits photosynthesis in C₃ grasses and increases the energy cost of exporting carbohydrates, while in C₄ grasses, the increase in temperature favors the photosynthetic rate. C₄ plants are better adapted to dry conditions and high temperatures, and elevated CO₂ reduces transpiration and protects against abiotic stress.

Increased CO₂ also affects the phosphorus cycle by reducing plant demand and microbial activity in the soil, which can lead to phosphorus accumulation. In addition, it can increase soil and water acidification, affecting phosphorus solubility and water quality.

In the sulfur cycle, the increase in CO₂ influences the emission of sulfur dioxide, the formation of sulfate aerosols, and photosynthesis. Human activities release CO₂ and sulfur dioxide, which affect climate and soil microbiology, and CO₂ can also influence the transformation of sulfur in the soil.

Regarding the oxygen cycle, increasing CO₂ levels can reduce the availability of oxygen in the rhizosphere by increasing the rate of microbial respiration. This can affect plant root respiration and nutrient uptake, which in turn can reduce plant productivity. In addition, the increase in CO₂ can alter the composition of the microbial community in the rhizosphere, affecting the soil's ability to fix nitrogen and decompose organic matter.

The rhizosphere is a microbial environment around plant roots, where organic compounds are released to feed soil microorganisms. High CO₂ levels can increase the release of carbon into the rhizosphere, which affects microbial activity and carbon cycling in the soil. This can also modify the soil structure and promote the formation of aggregates, improving its stability.

The increase in CO₂ in the atmosphere has various effects on the rhizosphere and the carbon cycle. It can alter microbial composition and nutrient availability, which affects productivity and carbon dynamics in the soil. Factors such as soil composition and plant species influence these effects.

The excessive release of CO₂ by human activities overloads the capacity of plants to process this gas. In addition, the mismanagement of natural resources, deforestation, soil erosion, and land degradation contribute to the release of CO₂, reducing the flow of carbon into the soil and increasing emissions.

The increase in CO₂ affects the physiology of plants, stimulating photosynthesis and improving water use. However, it can also alter the chemical composition of plants and affect the hydrological cycle, causing changes in precipitation and increasing the likelihood of droughts and floods.

With this, review research has shown that increased CO₂ in the soil rhizosphere has significant effects on the microbiome and biogeochemical cycling. C₃, C₄ and CAM plants respond differently to elevated CO₂ concentrations, affecting their metabolism and stomatal opening. In addition, it has been shown that the cycle of phosphorus, sulfur and oxygen in the rhizosphere can be altered by the increase in CO₂ since the microorganisms of interactions between CAM plants and their microbial associates such as the genera Actinobacteria, Bacillus, Pseudomonas. However, more research is needed to fully understand the underlying mechanisms and the interactions involved. Factors such as organic matter quality, carbon supply through root exudates, and other environmental factors also influence the rhizospheric microbiome response to elevated CO₂. This deeper understanding may be useful for developing future climate change mitigation and adaptation strategies.

Keyword's: CO₂, microbiome, rhizosphere, roots, plants, climate change

REFERENCIAS

1. Adriana Yepes & Marcos Silveira Buckeridge, (2010, febrero 12), RESPUESTAS DE LAS PLANTAS ANTE LOS FACTORES AMBIENTALES DEL CAMBIO CLIMÁTICO GLOBAL, Universidad de San Paulo, San Paulo, Brasil, http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-07392011000200006

2. Adriana Yepes & Marcos Silveira Buckeridge. (7 de Julio - diciembre de 2011).
RESPUESTAS DE LAS PLANTAS ANTE LOS FACTORES AMBIENTALES DEL
CAMBIO CLIMÁTICO GLOBAL. 14, 1-20.
3. Akter, S., Bhuiyan, M. A. H., Alharbi, B., Rahman, M. S., & Chakraborty, S. (2019).
Carbon dioxide induced environmental changes and their potential impact on water
quality: A review. Environmental Science and Pollution Research, 26(5), 4165-4177.
<https://doi.org/10.1007/s11356-018-3982-2>
4. Allen, C.D., Macalady, A.K., Chenchouni, H., Bachelet, D., McDowell, N., Vennetier,
M., Kitzberger, T., Rigling, A., Breshears, D.D., Hogg, E.H., et al. (2010). A global
overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change
risks for forests. Forest Ecology and Management 259, 660-684.
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.09.001>
5. Allen, R. G., L. S. Pereira, D. Raes y M. Smith. 2006. Evapotranspiración del cultivo:
guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. 1a ed.
Editorial organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación.
Roma.
Italia.https://www.academia.edu/download/56775147/Tabla_del_Coeficiente_del_cultivo_Kc.pdf

6. Bardgett, R. D., Mommer, L., & De Vries, F. T. (2013). Going underground: root traits as drivers of ecosystem processes. *Trends in ecology & evolution*, 28(12), 692-699.
7. Benavides, A. (2003). Fotosíntesis: Diferencias en las vías metabólicas C3, C4 y CAM, <https://www.exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/Fotosintesis%20C3,C4%20y%20CAM.pdf>
8. Cao, L., Bala, G., Caldeira, K., Nemani, R. (2021). Climate response to CO₂ and solar radiation geoengineering. *Geophysical Research Letters* 48, e2021GL093127.
<https://doi.org/10.1029/2021GL093127>
9. Carlos A. Llerena. (1991). CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA, EFECTOS INVERNADERO Y CAMBIOS CLIMÁTICOS: SUS IMPACTOS FORESTALES. REVISTA FORESTAL DEL PERÚ, 1(1), 10-12.
https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/31856477/RFP_18-2__1991_Art._esp.libre.pdf?1391510774=&response-contentdisposition=inline%3B+filename%3DArticulo_especial_CONTAMINACION_ATMO SFER.pdf&Expires=1683770993&Signature=XndHejjOkaFSvAe7-TXqjgKJfHg9CeKMnPVQ3X

10. Carslaw, K. S., Lee, L. A., Reddington, C. L., Pringle, K. J., Rap, A., Forster, P. M., ... & Spracklen, D. V. (2013). Large contribution of natural aerosols to uncertainty in indirect forcing. *Nature*, 503(7474), 67-71.
11. CONCENTRACIONES ELEVADAS DE CO₂, <http://repositorio.uach.mx/id/eprint/250>
12. de la rosa, D. (2008). IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LOS
SUELOS. mesa 5, 1(1), 114-124.
[https://digibug.ugr.es/bitstream/handle/10481/62068/DelaRosa_2008_Ambientalia.pdf?](https://digibug.ugr.es/bitstream/handle/10481/62068/DelaRosa_2008_Ambientalia.pdf?sequence=1)
[sequence=1](https://digibug.ugr.es/bitstream/handle/10481/62068/DelaRosa_2008_Ambientalia.pdf?sequence=1)
13. Dijkstra, F. A., Carrillo, Y., Pendall, E., & Morgan, J. A. (2013). Rhizosphere priming: a nutrient perspective. *Frontiers in microbiology*, 4, 216.
14. Efectos negativos del cambio climático para la humanidad. (2019, abril). *Revista Contribuciones a las Ciencias Sociales*, 1(1), 21.
<https://www.eumed.net/rev/cccss/2019/04/cambio-climatico-humanidad.html>
15. Eilers, J. M., & Sullivan, T. J. (2018). The Sulfur Cycle. En *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences* (pp. 1-10). Elsevier.
16. Equipo Editorial INTAGRI. (2018). *Metabolismo C3 y C4 en las plantas*. INTAGRI

Revista, 15(1), 48-51.

17. Equipo Editorial INTAGRI. (2018, octubre). plantas C3, C4 y CAM. 125, 5.

https://www.intagri.com/public_files/125.-Plantas-C3-C4-y-CAM.pdf

18. Ernesto Medina, Grisel Velásquez, & Ismael Hernández Valencia. (2016). Interacción planta-microorganismo en la rizosfera y su influencia en la nutrición vegetal. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 7(3), 617-630.

19. ERNESTO MEDINA, TATIANA DE BIFANO Y MILENA DELGADO. (1976).

DIFERENCIACION FOTOSINTETICA EN PLANTAS SUPERIORES. 1(2), 96-104.

https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/48842195/1976_Diferenciacion_Fotosintetica_copy-libre.pdf?1473890986=&response-contentdisposition=inline%3B+filename%3DDiferenciacion_fotosintetica_en_plantas.pdf&Expires=1683776745&Signature=cKsfKwnXnwIqth0zitwfn1qm3

20. Ernesto Medina, Tatiana de Bifano, & Milena Delgado. (1976). Caracterización de la fotorespiración en plantas C3: evidencia isotópica y cinética. Bioquímica y Biología Molecular, 11(1), 21-28.

21. Ernesto Medina^{1*}, Grisel Velásquez¹ e Ismael Hernández Valencia. (2016, junio 17, 2015). Impacto del calentamiento global y enriquecimiento atmosférico de CO₂ sobre cultivos tropicales: la perspectiva para Venezuela. 25-37, 13.

https://data.fs.usda.gov/research/pubs/iitf/ja_iitf_2016_medina001.pdf

22. Gaona, C. V. (22 de Junio de 2011). Genómica y Modelación en los Nuevos Escenarios de la Ganadería Bovina Tropical. 183.
 23. Haeberli, W., Hohmann, R., & Eisenhauer, A. (2017). Sulfur cycle. En Encyclopedia of Astrobiology (pp. 1-5). Springer Berlin Heidelberg.
 24. Haro Lenin, Oscullo José. (Marzo de 2016). Factor Anual de Emisión de CO₂ Producido por el Parque Generador del Sistema Nacional Interconectado del Ecuador, Mediante la Aplicación de la Metodología de la Convención Marco Sobre el Cambio Climático UNFCCC, para el Periodo
 25. Hernández Ruíz, H. (2019). Uso de métodos estadísticos para investigar el efecto de niveles altos de CO₂ en la concentración mineral de cultivos (Master's thesis), <http://colposdigital.colpos.mx:8080/xmlui/handle/10521/3494>
 26. Herrera, A., Fernández, M. D., Rengifo, E., & Tezara, W. (2001). Efecto de la concentración elevada de CO₂ sobre la fotosíntesis en especies tropicales. Interciencia, 26(10), 469-471.
 27. Huang, X., Wu, S., Wang, L., & Shen, Q. (2021). Microbiology of the Rhizosphere. Springer Nature. ING. Pavel Omar Everis Rodríguez, 10 de mayo de 2019
- COMPORTAMIENTO FISIOLÓGICO DEL PASTO NAVAJITA

28. IPCC (2014). Climate Change 2014: Synthesis Report. Retrieved from JanssensMaenhout, G., Crippa, M., Guizzardi, D., Muntean, M., Schaaf, E., Dentener, F., ... & Solazzo, E. (2015). EDGAR-HTAP: a harmonized gridded air pollution emission dataset based on national inventories. European Commission, Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability.
29. José Antonio Hódar, Regino Zamora y Josep Peñuelas. (2004). El efecto del cambio global en las interacciones planta-animal. 18.
30. Juan F. Gallardo y Agustin Merino (2011, 13 de marzo) CAPITULO 2 EL CICLO DEL CARBONO Y LA DINAMICA DE LOS SISTEMAS FORESTALES
<https://digital.csic.es/bitstream/10261/35792/1/Elpapel200743.pdf>
31. Kuske, C. R., Ticknor, L. O., Miller, M. E., Dunbar, J. M., & Davis, J. A. (1997). Comparison of soil bacterial communities in rhizospheres of three plant species and the interspaces in an arid grassland. *Applied and Environmental Microbiology*, 63(11), 4345–4351.
32. Liang, C., Schimel, J. P., & Jastrow, J. D. (2016). The importance of anabolism in microbial control over soil carbon storage. *Nature Microbiology*, 2(8), 1–6

33. Martha González E., Enrique Jurado, Socorro González E., Óscar Aguirre C., Javier Jiménez P., José Navar. (3, de JULIO-SEPTIEMBRE de 2003). CAMBIO CLIMÁTICO MUNDIAL CONSECUENCIA Y ORIGEN. VI, 1-10.
34. Martín Chivelet, Javier. (2010). Ciclo del carbono y clima: la perspectiva geológica. Enseñanza de las ciencias de la tierra, 18(1), 33-46.
<https://eprints.ucm.es/id/eprint/33310/>
35. Medina, 1987, E. Aspectos ecofisiologicos de plantas CAM en los trópicos Ernesto Medina, https://www.researchgate.net/profile/Ernesto-Medina/publication/286934239_Aspectos_ecofisiologicos_de_plantas_CAM_en_los_tropicos/links/56713fd008ae0d8b0cc2e5c7/Aspectos-ecofisiologicos-de-plantas-CAMen-los-tropicos.pdf
36. Medina, E., Velásquez, G., & Hernández, V. I. (2016). Impacto del calentamiento global y enriquecimiento atmosférico de CO₂ sobre cultivos tropicales: la perspectiva para Venezuela. Revista de la Facultad de Agronomía (UCV), 42, 25-37, https://data.fs.usda.gov/research/pubs/iitf/ja_iitf_2016_medina001.pdf
37. Nicholls R., Wong V., Burkett J., Codignotto J., Hay R., et al. (2007). Coastal Systems and Low-Lying Areas. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1(1), 361-409.
https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WGIIAR5-Chap5_FINAL.pdf

38. Orjuela, H. B. (2018). El carbono orgánico del suelo y su papel frente al cambio climático. *Revista de ciencias agrícolas*, 35(1), 82.
<https://doi.org/10.22267/rcia.183501.85>
39. Pardo, G., & Marcela, I. (2008). Efecto del uso del suelo sobre la descomposición de hojarasca y grupos funcionales microbianos (cuenca del Rio la Vieja, Quindío).
<https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/8344>
40. Paterson, E., Rattray, E. A., & Killham, K. (1996). Effect of elevated atmospheric CO₂ concentration on C-partitioning and rhizosphere C-flow for three plant species. *Soil Biology and Biochemistry*, 28(2), 195-201.
41. PCC), Grupo Intergubernamental sobre Cambio Climático. (2019). El Informe Especial del IPCC sobre cambio climático y la tierra. América Latina y el mundo.
42. Pinto, Alba Luz González. (2018). BIODIVERSIDAD Y CAMBIO CLIMÁTICO EN COLOMBIA. 1-153.
43. Quideau, S. (2010). Soil organic matter and soil function—Review of the literature and underlying data. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 139(1-2), 1-17.
<https://doi.org/10.1016/j.agee.2010.05.014>

44. Quideau, S. A. (2014). Carbon and phosphorus interactions in terrestrial ecosystems. Annual review of ecology, evolution, and systematics, 45, 165-190.
45. Rosado Porto, D. J. (2022). Effect of elevated atmospheric carbon dioxide concentrations on soil microbial processes and the soil microbiome <https://jlupub.ub.uni-giessen.de/handle/jlupub/7009>
46. Salvador Cordero Rodríguez. (1985). PLANTAS DE METABOLISMO FOTOSINTÉTICO C-3, C-4 Y CAM. 8. <https://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/PlantasdemetabolismoC3yC4.pdf>
47. Silberman, J. E., De Garay, A. S. A., & Grasso, D. (2016). Manejo de bosques con ganadería integrada: impacto en las comunidades microbianas del suelo = forest management with integrated livestock: impact on soil microbial communities. Scielo. <https://repositorio.inta.gob.ar/handle/20.500.12123/4032>
48. Smith, P., Wolińska, A., & Woliński, P. (2019). The Role of Rhizosphere Microbial Communities in Carbon Cycling and Plant Response to Elevated Atmospheric CO₂. Environmental Microbiology, 21(2), 398-407.
49. Tafur, M. A.-S. (2011). Cambio Climático: Causas y Posibles Impactos en los Ecosistemas Agrícolas. 27-183.

50. Tafur, Mabrouk A. El-Sharkawy y Sara Mejía de. (2011). Cambio Climático: Causas y Posibles Impactos en los Ecosistemas Agrícolas. 27-183.
51. United Nations. (2019). World Population Prospects 2019: Highlights (ST/ESA/SER.A/423). Department of Economic and Social Affairs, Population Division.
https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2019_10KeyFindings.pdf
52. Vicente, R., Pérez, P., Martínez-Carrasco, R., Gutiérrez, E., & Morcuende, R. EFECTO DEL CO₂ ELEVADO Y LA DISPONIBILIDAD DE NITRÓGENO EN LA ABSORCIÓN DE NITRATO Y EL ESTADO NITROGENADO EN PLANTAS DE TRIGO DURO CULTIVADAS EN CONDICIONES HIDROPÓNICAS. Libro de Comunicaciones, 59.
53. Werth, M. (2007). Contributions of Roots, Rhizodeposits, and Soil Organic Matter to CO₂ Efflux from Maize Rhizosphere as Revealed by ¹³C and ¹⁴C Tracer methods (Doctoral dissertation, Univ. Hohenheim).
54. Zhu, Q., He, C., & Liu, J. (2017). Effects of atmospheric CO₂ increase on the global sulfur cycle. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 122(4), 723-736.

55. Zhu, Y. G., Gillings, M., Simonet, P., & Stekel, D. (2016). Banishing antibiotic resistance? The challenge of evidence-based policy making. *Environmental microbiology*, 18(3), 900-908.