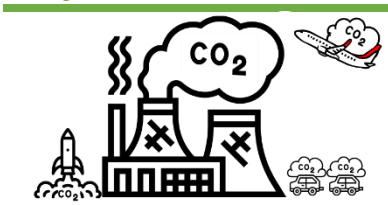
RESPIRACIÓN DEL SUELO EN EL YUNQUE

Hoja Informativa

Flujo de Gas

Un flujo de gas mide la cantidad de gas que entra y sale de un sistema por unidad de tiempo (*e.g.*, segundos, minutos u horas)[1]. Si el flujo de gas es positivo, el sistema está liberando gas. Si es negativo, el sistema está consumiendo o atrapando gas[2]. El sistema puede referirse a un organismo, un ecosistema o incluso a una maquinaria. Por ejemplo, los humanos tienen flujo de gas. Cuando respiran, consumen o atrapan oxígeno. El flujo de oxígeno es negativo. Los humanos liberan dióxido de carbono. El flujo de dióxido de carbono es positivo. Las plantas también tienen flujo de gas. En contraste, las plantas tienen un flujo de dióxido de carbono negativo y un flujo de oxígeno positivo[3].

Flujo de Dióxido de Carbono



Fuentes de Dióxido de Carbono

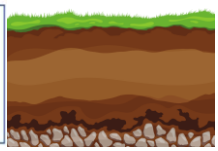
El Flujo de Dióxido de Carbono se refiere a la cantidad de Dióxido de Carbono (CO_2) que entra o sale de un sistema. Aunque no podemos ver ni oler el CO_2, es fundamental para nosotros. Este gas es necesario para que las plantas y otros organismos fotosintetizadores realicen la fotosíntesis y produzcan el oxígeno necesario para su supervivencia[1,3]. Si bien el CO_2 es importante para nuestra supervivencia, sigue siendo el principal gas de efecto invernadero que atrapa la radiación solar en la atmósfera terrestre. La alta producción de CO_2 por actividades humanas, como la quema de combustibles fósiles para el transporte y los procesos industriales, ha superado la capacidad de consumo de las plantas y otros organismos. El exceso de CO_2 que no se consume permanece en la atmósfera, causando el calentamiento global[3].

Flujo de Metano

Fuentes de Metano

El Flujo de Metano se refiere a la cantidad de Metano (CH_4) que entra o sale de un sistema. El CH_4 se produce de forma natural en ecosistemas con bajo contenido de oxígeno, como humedales y volcanes, mediante la respiración anaeróbica[1] de organismos como las bacterias[4,5]. Las actividades humanas representan aproximadamente el 60% de las emisiones de CH_4 en la Tierra[6]. El CH_4 se libera por el uso de gas natural, la minería, la quema de materia orgánica, la ganadería y la gestión de residuos (*i.e.*, los vertederos)[7,4,5]. Aproximadamente el 90% del CH_4 en la atmósfera se elimina de forma natural mediante reacciones químicas con otros gases que lo transforman en CO_2 y vapor de agua (¡que también son gases de efecto invernadero!)[4]. Otra forma en que el CH_4 se elimina de la Tierra es mediante microorganismos llamados metanotrofos que lo utilizan para producir energía[8]. Aunque una gran cantidad de metano se elimina de la Tierra mediante estos procesos naturales, la concentración de este gas en la atmósfera ha aumentado al menos un 20% debido a las actividades humanas [6].

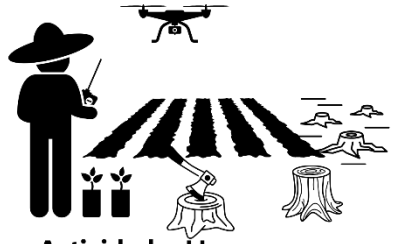
[1] La respiración anaeróbica es un proceso biológico que produce energía a partir de los alimentos en ausencia de oxígeno.



RESPIRACIÓN DEL SUELO EN EL YUNQUE

Hoja Informativa

Respiración del Suelo



Actividades Humanas que afectan la Respiración de Suelos

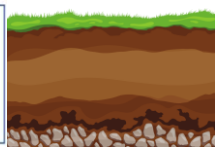
La respiración del suelo es una reacción química mediante la cual los organismos del suelo, como bacterias, hongos y raíces de plantas, generan la energía necesaria para sobrevivir mediante el intercambio de gases. Los suelos constituyen un ecosistema. Los procesos vitales de los organismos que los habitan son responsables de la respiración[9]. La respiración del suelo se mide por el flujo de gases como el CO_2 y el CH_4. Si bien los suelos almacenan una gran cantidad de gases de efecto invernadero, también son una fuente importante de ellos[10]. De hecho, los suelos son grandes contribuyentes de CO_2 a la atmósfera[9,11]. Las actividades humanas que afectan a los suelos, como la agricultura y la deforestación, han alterado el equilibrio del ecosistema, lo que ha provocado un aumento en la liberación de gases de invernadero[10].

Oxígeno

El oxígeno es un gas vital y muchos organismos dependen de él para sobrevivir. Dado que el oxígeno es necesario para la respiración aeróbica, su disponibilidad puede modificar las especies presentes en el suelo y su capacidad para utilizar nutrientes[12,13]. Las concentraciones de oxígeno en el suelo se ven afectadas por los patrones de lluvia. Estudios realizados en El Yunque revelaron una relación inversa entre las concentraciones de oxígeno y la lluvia. A medida que aumenta la lluvia, los niveles de oxígeno disminuyen. De hecho, los científicos han encontrado patrones estacionales en la disponibilidad de oxígeno. Durante el período de alta precipitación, los niveles de oxígeno tienden a ser más bajos que en el período de baja precipitación[12].

Humedad del Suelo

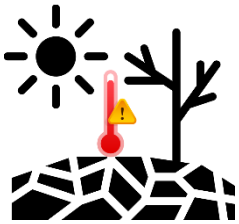
La humedad del suelo se refiere a la cantidad de agua almacenada en el suelo. La humedad puede afectar la actividad de los organismos que viven en el suelo porque afecta la disponibilidad de oxígeno y el acceso a los nutrientes. A medida que aumenta la humedad, el agua ocupa espacio y desplaza los otros componentes del suelo. Una mayor humedad resulta en una menor disponibilidad de oxígeno, lo que promueve la respiración anaeróbica[12,9,14,13]. En ausencia de oxígeno, se espera que el flujo de gases de un ecosistema cambie a medida que pasa de la respiración aeróbica a la anaeróbica. La respiración aeróbica promueve la producción de CO_2, mientras que la producción de CH_4 disminuye. Por otro lado, la respiración anaeróbica promueve la producción de CH_4, mientras que la producción de CO_2 disminuye[15]. Un estudio realizado en El Yunque, donde agregaron agua continuamente al suelo, encontró que la adición constante de agua no resultó en una disminución de las emisiones de CO_2 ni en un aumento de las emisiones de CH_4 como se esperaba. Dado que El Yunque es un bosque húmedo, los científicos plantearon la hipótesis de que los organismos que viven en el suelo están adaptados a la alta humedad. Por otra parte, plantearon la hipótesis de que este ecosistema es más susceptible a las sequías[15].



RESPIRACIÓN DEL SUELO EN EL YUNQUE

Hoja Informativa

Temperatura del Suelo



Estudios realizados en El Yunque han demostrado que la temperatura influye en la respiración del suelo. Los científicos descubrieron que la temperatura del suelo tiene una relación positiva con la respiración del suelo. A medida que aumenta la temperatura, también aumenta el flujo de CO_2. Esto se debe a que, si no existen otros factores limitantes (como agua o nutrientes), las temperaturas más altas pueden aumentar la tasa de descomposición, incrementando así la liberación de CO_2[9,14].

Sequía

Las sequías pueden causar cambios mayores y rápidos en la humedad y concentración de oxígeno del suelo[16,17]. Un experimento controlado en el que científicos simularon una sequía breve en El Yunque reveló que los efectos de la sequía fueron diferentes a lo largo de la montaña. En algunas zonas, las emisiones de CO_2 aumentaron, mientras que en otras disminuyeron. Lo mismo ocurrió con el CH_4[18]. Posteriormente, en 2015, Puerto Rico sufrió una gran sequía, y los científicos monitorearon la respiración del suelo en El Yunque. La precipitación en El Yunque promedió 4219 mm por año entre 2004 y 2013. En 2015, el año de la gran sequía, la precipitación total fue de solo 2035 mm. ¡Eso representa un 48 % menos para el año![17]. Mediante métodos estadísticos, los científicos pudieron identificar cuatro fases de la sequía: presequía, sequía aguda (cuando la sequía realmente estaba ocurriendo), período de recuperación y possequía. Esto brindó la oportunidad de estudiar los efectos de una sequía real en lugar de una simulación. En este estudio, descubrieron que la sequía provocó un aumento significativo de las emisiones de CO_2. Estas emisiones aumentaron durante la sequía y, al finalizar el estudio, tras el período possequía, las emisiones no se habían recuperado a los niveles previos. También descubrieron que, durante la sequía, el consumo de CH_4 aumentó significativamente, pero después se produjo un aumento significativo en la liberación de CH_4. Finalmente, la liberación de CH_4 tras la sequía fue lo suficientemente grande como para compensar el aumento del consumo durante la sequía[17]. Uno de los factores que puede explicar estos cambios en la respiración del suelo es que, durante la sequía, la humedad del suelo disminuyó, lo que resulta en un aumento de la disponibilidad de oxígeno. Estos estudios demuestran que las sequías pueden afectar la respiración del suelo y que sus efectos se extienden más allá del período sin lluvias. Esto se debe a que cuando el suelo está deshidratado, tarda cierto tiempo en reabsorber agua[17].

RESPIRACIÓN DEL SUELO EN EL YUNQUE

Hoja Informativa

Ubicación Topográfica

Al estudiar la respiración del suelo en El Yuqnue, los científicos observaron que las características del suelo cambian a lo largo de la montaña. Las crestas tienden a ser más secas que las laderas y los valles. Durante la sequía, las crestas pierden mayor cantidad de humedad, mientras que las laderas y los valles presentan un mayor aumento en la disponibilidad de oxígeno[17]. Estas diferencias pueden provocar distintos efectos en la respiración del suelo durante la sequía y variaciones en el tiempo que tarda el suelo en recuperarse de la sequía[12,17].

References:

1. Hatano R. Greenhouse Gas Fluxes: Effects of Physical Conditions. In: Gliński J, Horabik J, Lipiec J, editors. Encyclopedia of Agrophysics [Internet]. Dordrecht: Springer; 2011 [cited 2025 Apr 25]. p. 339–51. (Encyclopedia of Earth Sciences Series). Available from: https://doi.org/10.1007/978-90-481-3585-1_64
2. Copernicus. Copernicus. 2020 [cited 2025 Apr 27]. Greenhouse Gas Fluxes. Available from: https://climate.copernicus.eu/ESOTC/2019/greenhouse-gas-fluxes#:~:text=Regional%20variations%20in%20CO%E2%82%82%20fluxes%20due%20to%20natural%20effects,-Annual%20net%20CO%E2%82%82&text=Positive%20values%20indicate%20that%20the,/LSCE%20/TNO%20/NILU.
3. NASA Earth Sciences Communications Team. NASA Climate Kids. 2025 [cited 2025 Apr 27]. Why Is Carbon Important? Available from: https://climatekids.nasa.gov/carbon/
4. Heilig GK. The greenhouse gas methane (CH4): Sources and sinks, the impact of population growth, possible interventions. Popul Environ [Internet]. 1994 Nov 1 [cited 2025 Apr 13];16:109–37. Available from: https://doi.org/10.1007/BF02208779
5. NASA Earth Sciences Communications Team. NASA Climate Kids. 2025 [cited 2025 Apr 27]. Meet the Greenhouse Gases! Available from: https://climatekids.nasa.gov/greenhouse-cards/
6. NASA. Climate Change: Vital Signs of the Planet. 2024 [cited 2025 Apr 25]. Methane. Available from: https://climate.nasa.gov/vital-signs/methane?intent=121
7. Saunois M, Bousquet P, Poulter B, Peregon A, Ciais P, Canadell JG, et al. The global methane budget 2000–2012. Earth Syst Sci Data [Internet]. 2016 Dec 12 [cited 2025 Apr 13];8(2):697–751. Available from: https://essd.copernicus.org/articles/8/697/2016/
8. Cadena S, Cervantes FJ, Falcón L, García-Maldonado JQ. Frontiers for Young Minds. 2019 [cited 2025 Apr 25]. The Role of Microorganisms in the Methane Cycle. Available from: https://kids.frontiersin.org/articles/10.3389/frym.2019.00133
9. Gutiérrez del Arroyo O, Wood TE. Large seasonal variation of soil respiration in a secondary tropical moist forest in Puerto Rico. Ecol Evol [Internet]. 2021 [cited 2025 Apr 6];11(1):263–72. Available from: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/ece3.7021
10. Kopittke PM, Dalal RC, McKenna BA, Smith P, Wang P, Weng Z, et al. Soil is a major contributor to global greenhouse gas emissions and climate change. SOIL [Internet]. 2024 Dec 6 [cited 2025 Apr 13];10(2):873–85. Available from: https://soil.copernicus.org/articles/10/873/2024/
11. Raich JW, Schlesinger WH. The global carbon dioxide flux in soil respiration and its relationship to vegetation and climate. Tellus B [Internet]. 1992 [cited 2025 Apr 26];44(2):81–99. Available from: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1034/j.1600-0889.1992.t01-1-00001.x
12. Silver WL, Liptzin D, Almaraz M. Soil redox dynamics and biogeochemistry along a tropical elevation gradient. In: Gonzalez G, Willig MR, Waide RB, editors. Ecological gradient analyses in a tropical landscape [Internet]. Hoboken, NJ: Wiley-Blackwell; 2013 [cited 2025 Apr 14]. p. 195–210. (Ecological Bulletins). Available from: https://research.fs.usda.gov/treesearch/47290
13. Silver WL, Lugo AE, Keller M. Soil oxygen availability and biogeochemistry along rainfall and topographic gradients in upland wet tropical forest soils. Biogeochemistry [Internet]. 1999 Mar 1 [cited 2025 Apr 14];44(3):301–28. Available from: https://doi.org/10.1007/BF00996995

14. Wood TE, Detto M, Silver WL. Sensitivity of soil respiration to variability in soil moisture and temperature in a humid tropical forest. PloS One. 2013;8(12):e80965.
15. Hall SJ, McDowell WH, Silver WL. When Wet Gets Wetter: Decoupling of Moisture, Redox Biogeochemistry, and Greenhouse Gas Fluxes in a Humid Tropical Forest Soil. Ecosystems [Internet]. 2013 Jun 1 [cited 2025 Apr 14];16(4):576–89. Available from: https://doi.org/10.1007/s10021-012-9631-2
16. Sihi D, Xu X, Salazar Ortiz M, O'Connell CS, Silver WL, López-Lloreda C, et al. Representing methane emissions from wet tropical forest soils using microbial functional groups constrained by soil diffusivity. Biogeosciences [Internet]. 2021 Mar 15 [cited 2025 Apr 14];18(5):1769–86. Available from: https://bg.copernicus.org/articles/18/1769/2021/
17. O'Connell CS, Ruan L, Silver WL. Drought drives rapid shifts in tropical rainforest soil biogeochemistry and greenhouse gas emissions. Nat Commun [Internet]. 2018 Apr 9 [cited 2025 Apr 26];9(1):1348. Available from: https://www.nature.com/articles/s41467-018-03352-3
18. Wood TE, Silver WL. Strong spatial variability in trace gasdynamics following experimental drought in a humid tropical forest. Glob Biogeochem Cycles [Internet]. 2012 Sep [cited 2025 Apr 26];26(3):2010GB004014. Available from: https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2010GB004014