

Artículo de investigación

Causa-efecto de las actividades antropogénicas sobre el bosque tropical del Amazonas: Una visión Global

Jefferson Cuenca

Museo Nacional de Ciencias Naturales, CSIC; El Coca EC220150, Ecuador

* Correspondencia: jefferson.cuenca@csic.org

Recibido: 10 mayo 2019; **Aceptado:** 16 junio 2019; **Publicado:** 21 junio 2019

DOI/URL: <https://www.greenworldjournal.com/doi-008-jc-2019>



Resumen: El bosque tropical del Amazonas es un importante sumidero de carbono de todo el planeta. Las actividades antropogénicas son amenazas directas para los bosques tropicales. Los cambios globales están afectando al funcionamiento de los bosques de todo el mundo. El objetivo de este estudio fue ofrecer un panorama general de las causas y efectos que sufre el bosque tropical amazónico. Además de dar una idea general de como actividades antrópicas afectan su funcionamiento. Se realizó una búsqueda sistemática utilizando varias bases de datos en revistas científicas de alto impacto. Las actividades de minería y deforestación afectan directamente a la salud y recuperación de los bosques Amazónicos. El impacto humano hacia la deforestación y degradación forestal, amenaza con hacer de los bosques tropicales el epicentro de las extinciones actuales y futuras. Los bosques tropicales son claves en el ciclo del carbono de todo el planeta, ya que capturan la mitad del todo el CO₂ atmosférico que fijan los ecosistemas terrestres. La destrucción de los bosques es perjudicial y genera peores capacidades para soportar perturbaciones naturales y antropogénicas, en general funcionan peor.

Palabras claves: Amazonas, minería de oro, Deforestación, Sumidero de carbono, Modificación humana global

Cause-Effect of Anthropogenic Activities on the Amazon Rainforest: A Global View

Abstract: The Amazon rainforest is a major carbon sink for the entire planet. Anthropogenic activities are direct threats to tropical forests. Global changes are affecting the functioning of forests around the world. The objective of this study was to provide an overview of the causes and effects that the Amazon rainforest is suffering. In addition to giving a general idea of how anthropogenic activities affect its functioning. A systematic search was conducted using various databases in high impact scientific journals. Mining and deforestation activities directly affect the health and recovery of the Amazon rainforest. The human impact on deforestation and forest degradation threatens to make tropical forests the epicenter of current and future extinctions. Tropical forests are key to the carbon cycle of the entire planet, capturing half of all atmospheric CO₂ fixed by terrestrial ecosystems. The destruction of forests is detrimental and generates worse capacities to withstand natural and anthropogenic disturbances, in general they function worse.

Keywords: Amazon, Gold mining, Deforestation, Carbon sink, Global human modification.

1. Introducción

Los ecosistemas que tienen una baja influencia humana son contribuyentes vitales para el bienestar humano[1], incluyendo la provisión de servicios de los ecosistemas (por ejemplo, agua limpia y control de inundaciones, almacenamiento de carbono y polinización, la amortiguación contra el cambio climático y la conservación de la biodiversidad)[2,3]. Sin embargo, a medida que

las poblaciones y las economías humanas se han expandido, también lo han hecho las influencias humanas en los entornos naturales[4]. Estos entornos influidos por el hombre, como las zonas agrícolas, forestales y urbanas, todavía pueden conservar o ser gestionados para apoyar algunos elementos de la diversidad biológica y ser zonas importantes en la prestación de servicios de los ecosistemas o de recreo[5-7]. Todos los ecosistemas terrestres actualmente alterados por las actividades humanas, la preservación de la biodiversidad y las funciones de los ecosistemas es un desafío, particularmente en los trópicos[8-10]. Como consecuencia del cambio en el uso de la tierra, un número creciente de especies están siendo "forzadas" a habitar paisajes modificados por el hombre. La capacidad de los organismos para utilizar cubiertas terrestres antrópicas, se está convirtiendo rápidamente en un determinante clave de su persistencia en los paisajes modificados por el hombre[11,12].

Los ecosistemas de los bosques tropicales albergan al menos dos tercios de la diversidad biológica terrestre de la Tierra y proporcionan importantes beneficios para el ser humano a nivel local, regional y mundial mediante el suministro de bienes económicos y servicios de los ecosistemas. Sin embargo, el futuro de las especies forestales tropicales nunca ha sido tan incierto. Pocas zonas de los trópicos han escapado a alguna forma de impacto humano y la influencia combinada de las tasas persistentemente altas de deforestación y degradación forestal, la sobreexplotación, las especies invasoras y el cambio ambiental mundial amenaza con hacer de los bosques tropicales el epicentro de las extinciones actuales y futuras[13,14]. Cuando se producen cambios en la forma de uso y ocupación del suelo, éstos tienden a reflejarse en la cubierta vegetal natural, originados por la pérdida de la sección natural[15]. Los cambios causados por el hombre generan directamente impactos en las condiciones climáticas locales o incluso globales, dependiendo directamente del tamaño de la modificación que se haya realizado. La acción antrópica tiene un impacto directo en los cambios en las precipitaciones y la temperatura[16].

Los sitios mineros suelen estar situados en lugares remotos, suelen coincidir con zonas protegidas o zonas de gran biodiversidad[17,18]. La deforestación debida a la minería de oro se ha convertido en una importante amenaza para algunos de los bosques antiguos más remotos y mejor conservados de Sudamérica tropical[19]. Aunque los costos ambientales de la minería de oro son elevados, es una importante contribución a las economías de los países industrializados y los países en desarrollo, así como una fuente principal de ingresos para muchas personas. A medida que la demanda y el precio del oro a nivel mundial continúen aumentando, es probable que las actividades de minería de oro sigan aumentando en los bosques tropicales de América del Sur[20].

Los bosques vuelven a retrasar el cambio climático antropogénico al disminuir la tasa de acumulación de dióxido de carbono (CO₂) en la atmósfera. Sin embargo, los conductores y la distribución geográfica de este sumidero siguen estando mal caracterizados, lo que limita tanto nuestra comprensión de las razones por las que se produce como nuestra capacidad de predecir su existencia futura continuada [21,22]. Las estimaciones a gran escala del sumidero total de carbono debido al bosque en rebrote varían ampliamente. Esta incertidumbre en cuanto al tamaño del sumidero de carbono terrestre debido al recrecimiento de los bosques tiene consecuencias profundas para nuestra comprensión del ciclo mundial del carbono. Mientras que el punto de saturación de un sumidero inducido por el CO₂ sigue siendo muy incierto, un sumidero procedente de la regeneración de los bosques está fundamentalmente limitado[21].

El presente estudio realiza una extensa revisión bibliográfica de artículos científicos, para obtener información detallada sobre las principales causas antrópicas que afectan al bosque tropical del Amazonas y sus efectos que limitan su función principal de ser sumideros de Carbono. Las palabras clave utilizadas fueron Amazonas, minería de oro, Deforestación, Sumidero de carbono, Modificación humana global. Estos se asociaron con palabras como: Antropoceno, Cambio climático, Amenazas, Amazonia legal, sobreexplotación, Ecosistema. Las referencias obtenidas fueron filtradas y analizadas con el propósito de mayor confiabilidad y robustez de la información. Utilizamos sitios de búsqueda bibliográfica, Nature, Sciencedirect, Oxford Academic, Science, Springer, Google académico. Proporcionamos un análisis técnico más profundo de temas de interés para científicos y profesionales, y revisamos los acontecimientos e impactos de actividades antrópicas en tres niveles, incluyendo: 1) la deforestación que se produce en el Bosque del

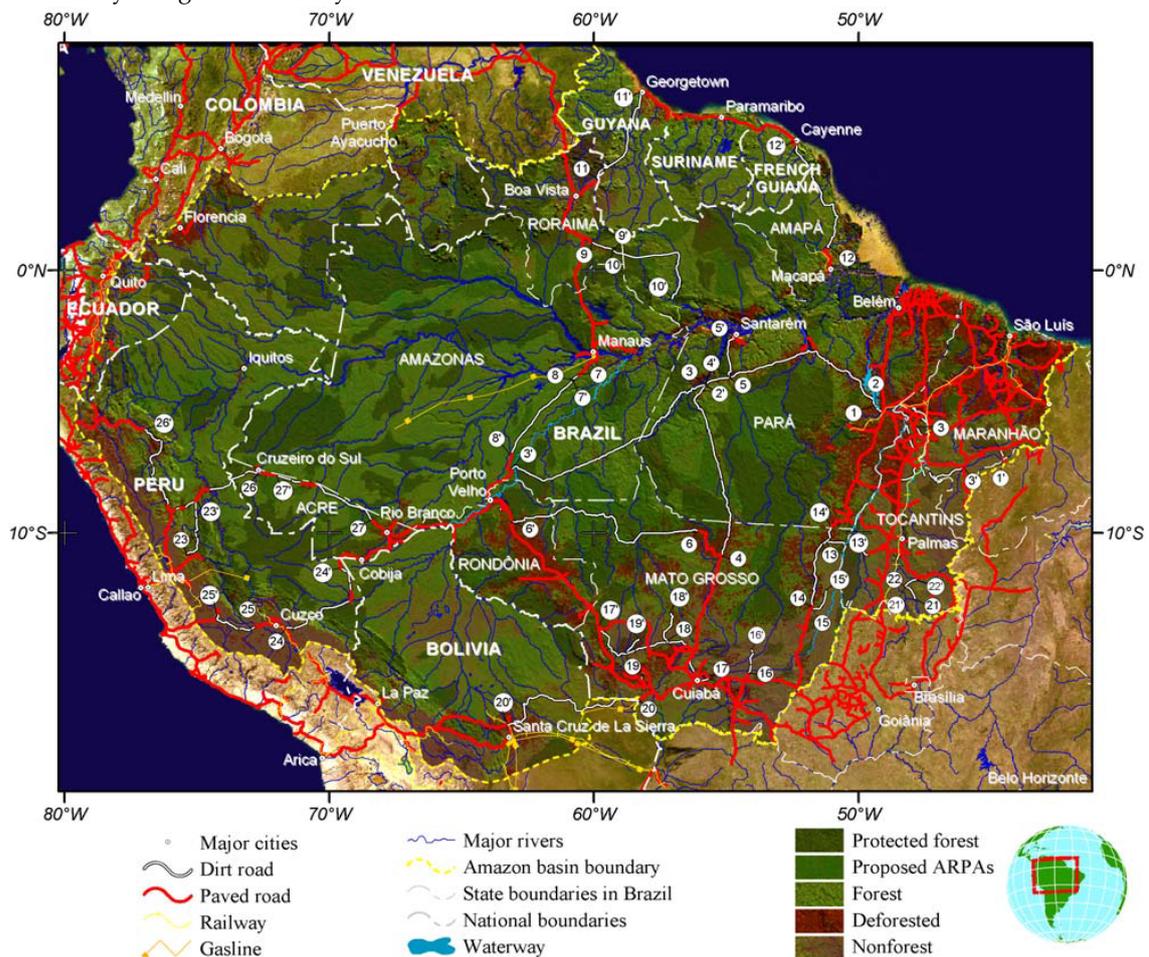
Amazonas y se muestra una perspectiva futura del Bosque del Amazonas. 2) las actividades de minería de oro que intensifican la deforestación y disminución vegetal; y 3) Analizamos la deficiencia de los bosques para ser sumideros de Carbono. Además de mostrar una visión hacia el futuro si no se disminuye y gestiona las actividades antrópicas de forma correcta. Muchos temas cubiertos en esta revisión son complejos y merecen una revisión propia. Sin embargo, al cubrir múltiples escalas en un solo lugar, proporcionamos una visión global de la actividad antrópica está afectando a los diferentes ecosistemas y cómo estos cambios pueden afectar el bienestar humano, incluidos los impactos Ambientales.

2. Deforestación.

Los cambios causados por el aumento de los niveles de acción antropogénica tienen un impacto directo en la vegetación. La no adopción de medidas para controlar la eliminación de la vegetación natural aumenta la deforestación, lo que provoca mayores cambios en los niveles de precipitación y temperatura, mayores cambios en el ciclo hidrológico y el control térmico[16]. La alteración de los procesos ecológicos puede llevar a extinciones en cascada. Por ejemplo, muchos árboles tropicales producen grandes frutos ricos en lípidos adaptados a la dispersión animal, por lo que la desaparición de los frugívoros puede tener graves consecuencias para la regeneración forestal, incluso si se controlan los generadores iniciales de pérdida y degradación del hábitat[14].

Si la deforestación siguiera el escenario de continuidad de [23], hasta el 47% de los 2,6 millones de km² de la Amazonia brasileña que seguían estando gravemente infradecorados hasta 2017 se habrán deforestado para 2050 (Figura 1). Aproximadamente 900 000 km² de selva tropical que, según las previsiones, quedarán deforestados para 2050 en la hipótesis de que las cosas sigan igual. En la hipótesis de una gobernanza mejorada, en lugar de 900 000 km² sólo se deforestarán 250 000 km²[24].

Figura 1. Cuenca del Amazonas, sus principales ciudades, caminos pavimentados y de tierra, y áreas protegidas existentes y propuestas. La cuenca del Amazonas más grande incluye la cuenca del río Amazonas, la Amazonía Legal en Brasil y la región de la Guayana.



El 30% de todas las localidades de recolección fueron deforestadas para el 2017, es decir, más de la mitad del área interna de su respectivo amortiguador de 1 km había sido deforestada. La mayoría de ellas se encontraban en zonas no protegidas. Mientras que todas las localidades de recolección de 264 especies individuales habían sido completamente deforestadas, todas las localidades de recolección de 1764 especies seguían estando cubiertas de bosque en 2017 [24].

La agricultura en el Brasil es ejemplar, con un crecimiento de la producción de alimentos, suministro de energía, e ingresos de divisas, y una mayor inserción internacional en los últimos años. Sin embargo, los conflictos e irregularidades asociados con la propiedad de la tierra y la apropiación de tierras públicas siguen siendo un problema central, particularmente en la Amazonia. Nuestro argumento, como se indica en la introducción, es que la gobernanza de la tierra es una condición necesaria para reducir o controlar la deforestación[16,25].

Es necesario aclarar lo que es "gobernanza de la tierra". Sin sumergirse demasiado en la discusión académica sobre diferentes significados y definiciones, entendemos la gobernanza de la tierra como concerniente a "las reglas, procesos y estructuras a través de las cuales se toman las decisiones sobre el uso y el control sobre la tierra, la forma en que se aplican las decisiones y la forma en que se gestionan los intereses contrapuestos en la tierra"[26]. Esta definición también abarca las instituciones estatutarias, consuetudinarias y religiosas y los agentes formales e informales. Es así, fundamentalmente, un punto de vista sobre el poder y la economía política de tierra, ya que "la estructura de poder de la sociedad se refleja en las reglas de la tenencia de la tierra" y "la calidad de la gobernanza puede afectar a la distribución del poder en la sociedad". Más allá de la consideración de esta definición del marco institucional, también abarca la legitimidad social y las asimetrías de poder presentes en relación con la tierra[25].

La gobernanza de la tierra por sí sola no resolverá el problema de la deforestación en la Amazonia, pero es un requisito previo para abordar el problema[27]. En lo que respecta a las tierras baldías, el registro oficial permitiría al Estado identificarlas y controlarlas y evitar la apropiación privada inadecuada y la deforestación. La regularización de las tierras vacantes también permitiría utilizar esas tierras en la ejecución de la política agraria del Brasil, incluida la colonización organizada, la reforma agraria y otros usos. En las tierras privadas, una gobernanza eficaz y participativa basada en un conocimiento local preciso permitirá establecer prioridades de uso y una aplicación, planificación y reglamentación adecuadas del uso del suelo. Además, mediante la zonificación y otros instrumentos obligatorios, el registro de las tierras baldías evitará la deforestación y limitará sin duda la especulación con la tierra, que es la principal causa de la deforestación[26].

3. Minerías de oro.

La actividad de extracción de oro se ha hecho más evidente en toda la cuenca del Amazonas, hasta el punto de que ahora es el principal impulsor de la deforestación en varios países del norte del Amazonas y un factor importante en otros lugares[28,29].

En Guyana, por ejemplo, la minería de oro provocó la pérdida de 57.000 ha de bosque entre 2010 y 2017[30], lo que representa un área de magnificación similar a la de Perú, donde la deforestación relacionada con la minería de oro se estimó en >60.000 ha dentro de la misma línea de tiempo[31]. Estas actividades mineras invariablemente conducen a una extensa deforestación y a la formación de represas ambientales, lo que da lugar a una considerable erosión y contaminación del suelo, una mayor fragmentación de los bosques y la contaminación de ríos y arroyos con mercurio[32-35].

La magnitud de los daños físicos y la contaminación química del suelo asociados a las actividades de extracción de oro lo distingue de otros impulsores tradicionales de la deforestación, como la conversión en pastos o la agricultura en pequeña escala, que por lo general no alteran de manera significativa la estructura o los nutrientes del suelo[36]. La excavación de la capa superior del suelo asociada a la minería hace que el suelo defina su contenido de materia orgánica y nutrientes[37]. Por lo tanto, se espera que la minería del oro detenga las tasas de recuperación de los bosques en comparación con otros usos de la tierra. Además, la toxicidad del mercurio aplicado durante la minería puede ser perjudicial para los microbios, ya que afecta negativamente a la fisiología y el metabolismo de las plantas una vez que se traspasa el umbral de concentración en el suelo[38].

A pesar de la importancia de la minería como uno de los principales impulsores de la deforestación tropical, sus efectos en la acumulación de biomasa forestal siguen sin cuantificarse en gran medida. Sólo conocemos un estudio de campo previo que ha intentado evaluar la recuperación de los bosques tras la deforestación de la minería de oro en el Amazonas[39], pero este estudio sólo realizó evaluaciones visuales del área vegetada tras 1-4 años de recuperación sin mediciones cuantitativas y se calcula que con ello se pierde la oportunidad de fijar más de 21 000 toneladas de CO₂ cada año. Se evaluó visualmente la regeneración de los bosques después de la minería de oro, encontrando el recrecimiento de la vegetación en zonas previamente explotadas en el Perú. Sin embargo, en esos estudios no se ha incorporado la verificación sobre el terreno y no se considera por separado la naturaleza compleja de los sitios mineros, que suelen constar de tres zonas mineras distintas: a) sobrecarga: zonas que cubren el mineral de oro, incluida la capa superior del suelo, que se desplazan durante el proceso de extracción, b) estanque de colas: depósitos de material que queda después de que el oro se ha separado del mineral y c) el pozo de extracción[30]. La intensidad de la perturbación causada por la explotación minera es mucho mayor en la balsa de desechos y en el pozo de extracción. En estas zonas mineras, la recuperación puede considerarse como una sucesión primaria debido al insignificante legado biológico que queda en el suelo, lo que da lugar a una nueva superficie para la colación que no se asemeja a las condiciones anteriores a la perturbación[40]. Sin embargo, las condiciones para la recuperación son mucho más favorables en la sobrecarga. Aquí, la recuperación se considera un proceso de sucesión secundario, debido al mayor legado biológico que queda en el suelo después de la perturbación[20,39,41].

Varios estudios recientes han cuantificado la forma en que los bosques secundarios en recuperación prestan una serie de servicios ecosistémicos, entre ellos el mantenimiento de la biodiversidad y la acumulación significativa de carbono en su biomasa[41,42]. Las recientes síntesis de las cronologías de los bosques secundarios tropicales han concluido que las tasas de recuperación de la biomasa de los bosques secundarios están: a) en gran medida controladas por las condiciones de las precipitaciones de fondo[41] y b) son más rápidas en los bosques que antes estaban bajo pastoreo que en los de producción agrícola[43]. Sin embargo, ninguna de estas síntesis contiene cronologías sobre las zonas anteriormente explotadas, por lo que no sabemos cómo se compara la recuperación de la biomasa y la biodiversidad tras la extracción de oro con la recuperación de los usos más tradicionales de la tierra, como los pastos y la agricultura[39].

4. Funcionamiento.

A nivel mundial, los bosques actúan como un gran sumidero de carbono, absorbiendo una parte sustancial de las emisiones antropogénicas de CO₂[44,45], un servicio del ecosistema que tiene un enorme valor social y económico. El hecho de que los bosques maduros sigan siendo sumideros de carbono en el futuro es de importancia crítica para las aspiraciones de limitar el calentamiento climático a no más de 1,5 °C por encima de los niveles preindustriales[46]. Los experimentos del Enriquecimiento de CO₂ en aire libre (FACE) ofrecen la oportunidad de determinar la capacidad de los ecosistemas para secuestrar carbono bajo las mayores concentraciones de CO₂ atmosférico que se esperan en el futuro[47-51]. Las pruebas reunidas en los cuatro experimentos forestales de primera generación de la FACE, en los que se midieron todas las respuestas de las plantaciones forestales jóvenes de rápido crecimiento, han indicado en general un fuerte efecto de fertilización con CO₂ en el crecimiento de la biomasa[47,52,53].

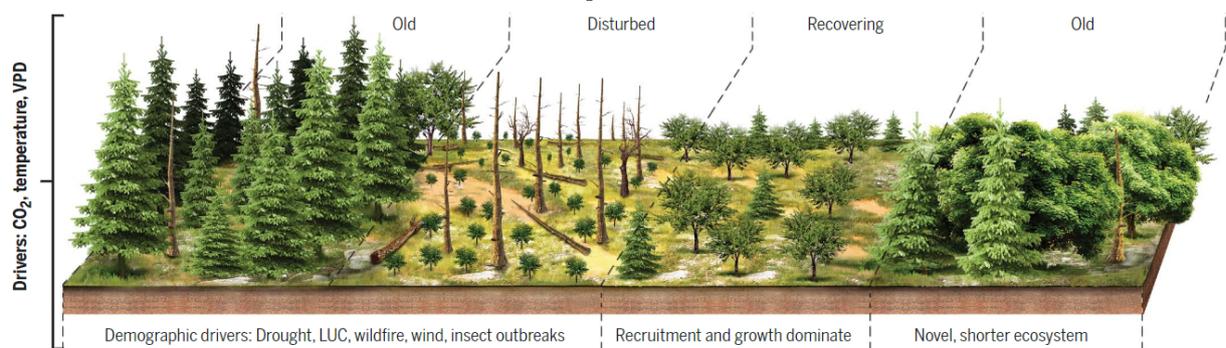
El escalado de nuestra fuerza de sumidero media estimada por área de bosque por cada continente significa que la Tierra ha pasado el punto de máxima captación de carbono en bosques tropicales intactos (Tabla 3). El sumidero continental de la Amazonia alcanzó su punto máximo en la década de 1990, seguido de un descenso, impulsado por la fuerza del sumidero que alcanzó su punto máximo en la década de 1990 y un descenso continuo en el área forestal (Tabla 3)[54].

El sumidero C continental total es el sumidero C por unidad de superficie sobre el suelo multiplicado por la superficie de bosque intacto e incluye estimaciones específicas para cada continente de tres componentes de las reservas de carbono que no se midieron en las parcelas de inventario: árboles con un diámetro a la altura del pecho de <100 mm, lianas y raíces. ^bEl sumidero C de biomasa viva por unidad de superficie sobre el suelo es el valor medio ponderado por área del sumidero amazónico. ^cEl sumidero amazónico en el período 2010-2015 se calculó a partir de 172

parcelas que se midieron en su mayoría entre el 1° de enero de 2010 y mediados de 2011. La falta de cobertura temporal más tarde en este período probablemente tiene poco impacto en los resultados; la suma de los resultados modelizados para el 1 de enero de 2012 al 31 de diciembre de 2014 da un sumidero sobre la superficie por unidad de superficie de $0,25 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ (0,00-0,49). ^dEl sumidero C total por unidad de superficie para 2010-2020, 2020-2030 y 2030-2040.

Derivado atmosféricamente estimaciones del sumidero de carbono terrestre y Los datos de la teledetección indican que el crecimiento de los árboles y el posible reclutamiento puede haber aumentado a nivel mundial en el siglo XX, pero el crecimiento de este sumidero de carbono se ha ralentizado como consecuencia de actividades antropogénicas como la deforestación, minería de oro (Figura 3)[30,55].

Figura 3. Un diagrama conceptual de los componentes de la dinámica de los bosques y las perturbaciones que los impulsan.



En el panel de la extrema izquierda, un ecosistema maduro responde principalmente a la mortalidad localizada, y los principales impulsores de la demografía son las variables que cambian de forma crónica, como el CO_2 , la temperatura y el déficit de presión de vapor. En el siguiente panel, el sistema es perturbado por un incendio, un brote de insectos u otra perturbación a gran escala que elimina la mayoría de los árboles del piso superior y se establecen especies adaptadas a un rápido reclutamiento posterior a la perturbación. En el tercer panel, el reclutamiento y el crecimiento dominan los procesos demográficos, y la mortalidad aumenta con el tiempo a medida que la competencia conduce al autodesarrollo. En el último panel, un ecosistema maduro está dominado por especies que han reemplazado a la comunidad original en respuesta a los cambios ambientales crónicos, lo que da lugar a un ecosistema novedoso.

La dinámica de la vegetación forestal ya está fuertemente influenciada por el cambio global y continuará siendo afectada en el futuro por los cambios en el uso de la tierra, factores crónicos como el CO_2 [10,21,56]. Los efectos en los bosques están impulsados en gran medida por el aumento constante de la mortalidad de los árboles a causa de los ríos y por las respuestas variables de reclutamiento y crecimiento en función de la edad del rodal, el tipo de perturbación y la ubicación geográfica[28,34]. Las consecuencias de los cambios demográficos sugieren un aumento de la limitación del almacenamiento de carbono terrestre debido, al menos, al aumento constante de la mortalidad. Toda disminución del reclutamiento o del crecimiento, especialmente cuando se interrumpen los ciclos de recuperación de las perturbaciones, exacerbará esta limitación del ciclo del carbono[52]. La ordenación forestal debe, en última instancia, hacer frente a la elevada mortalidad y a la incertidumbre en el reclutamiento y el crecimiento cuando se consideren las opciones para mantener los beneficios sociales de los bosques en el futuro[55].

5. Conclusión

Las actividades humanas afectan directamente a la pérdida demográfica de la naturaleza y con ello generar un gran impacto directo en la vegetación, aumentando la deforestación provocando graves problemas ambientales. La falta de políticas claras para controlar la eliminación de la vegetación natural aumenta la deforestación, lo que provoca mayores cambios en los niveles de precipitación y temperatura, mayores cambios en el ciclo hidrológico, especialmente el ciclo del Carbono. La alteración de los procesos ecológicos en bosques puede llevar a extinciones en cascada de especies vegetales y Animales.

La minería de oro tiene un fuerte impacto en la deforestación del Amazonas. En el escudo de las Guayanas supone un gran impacto a causa de la deforestación. La recuperación de los bosques en zonas sometidas a extracción de oro es muy baja y que la sucesión natural queda detenida. Los suelos empobrecidos en nitrógeno y contaminados con mercurio hacen casi cero el incremento de

biomasa vegetal y se calcula que con ello se pierde la oportunidad de fijar el CO₂ de forma positiva para el ambiente cada año.

Los bosques tropicales son claves en el ciclo del carbono de todo el planeta ya que capturan la mitad del todo el CO₂ atmosférico que fijan los ecosistemas terrestres. Sin embargo, su función reguladora, crucial en el cambio climático está flaqueando. El bosque amazónico ha pasado a fijar la mitad la mitad de lo que fijaba hace treinta años. Los bosques en la Amazonía han contribuido significativamente y durante décadas a la mitigación del cambio climático. Sin embargo, las naciones amazónicas no se han beneficiado directamente de la provisión de este servicio ambiental a escala global.

Los cambios globales están afectando al funcionamiento de los bosques de todo el mundo. La destrucción de los bosques es perjudicial ya que su recuperación fluctúa, con un resultado neto de bosques compuestos por individuos más jóvenes, más pequeños con peores capacidades para soportar perturbaciones naturales y antropogénicas y que en general funcionan peor.

Contribución de autores: El desarrollo de la investigación corresponde a aportes únicos del autor.

Financiamiento: Los autores financiaron a integridad el estudio.

Conflictos de interés: Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Referencias

1. FAO *El Estado Mundial de la Pesca y la Acuicultura*; 2014; Vol. 75; ISBN 9789253082759.
2. Rueda González, F.M. Breve historia de una gran desconocida: la acuicultura. *Eubacteria*, nº 26 **2011**.
3. FAO *El Estado Mundial de la Pesca y la Acuicultura*; 2018; Vol. 3; ISBN 0000000340472.
4. Ariza, F.G.; Rodríguez, E.M. Tecnología Biofloc (BFT), una alternativa sostenible para el desarrollo de la acuicultura: revisión. *Ing. Y Región* **2019**, 21, 2-11.
5. Halim, M.A.; Nahar, S.; Nabi, M.M. Biofloc technology in aquaculture and its potentiality: A review. **2019**.
6. Crab, R.; Defoirdt, T.; Bossier, P.; Verstraete, W. Biofloc technology in aquaculture: Beneficial effects and future challenges. *Aquaculture* **2012**, 356-357, 351-356, doi:https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.04.046.
7. Emerenciano, M.; Gaxiola, G.; Cuzon, G. Biofloc technology (BFT): a review for aquaculture application and animal food industry. *Biomass now-cultivation Util.* **2013**, 301-328.
8. Marinho-Pereira, T.; Junior, C.H.F.; Rincón, L.M.G.; Britto, E.N.; Cavero, B.A.S.; Aride, P.H.R.; de Oliveira, A.T. Tecnología biofloc: datos, estudios y experiencias para el desarrollo de la acuicultura latinoamericana/Biofloc technology: data, works and experiences for development of the latin american aquaculture. *Brazilian J. Dev.* **2019**, 6, 7847-7862.
9. Castro-Nieto, L.; Castro-Barrera, T.; De Lara-Andrade, R.; Castro-Mejía, J.; Castro-Mejía, G. Sistemas biofloc: un avance tecnológico en acuicultura. *Rev. Digit. del Dep. El Hombre y su Ambient.* **2012**, 1, 1-6.
10. Avnimelech, Y. Biofloc technology. A practical guide book. The World Aquaculture Society. *Bat. Rouge* **2009**.
11. Azim, M.E.; Little, D.C. The biofloc technology (BFT) in indoor tanks: Water quality, biofloc composition, and growth and welfare of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture* **2008**, 283, 29-35, doi:https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.06.036.
12. Ulloa Walker, D.A.; Morales Suazo, M.C.; Emerenciano, M.G.C. Biofloc technology: principles focused on potential species and the case study of Chilean river shrimp *Cryphiops caementarius*. *Rev. Aquac.* **2020**, n/a, doi:10.1111/raq.12408.
13. Llario, F.; Falco, S.; Sebastián-Frasquet, M.-T.; Escrivá, J.; Rodilla, M.; Poersch, L.H. The Role of *Bacillus amyloliquefaciens* on *Litopenaeus vannamei* During the Maturation of a Biofloc System. *J. Mar. Sci. Eng.* **2019**, 7.
14. Dauda, A.B. Biofloc technology: a review on the microbial interactions, operational parameters and implications to disease and health management of cultured aquatic animals. *Rev. Aquac.* **2019**, 12, 1193-1210.
15. Mancipe, L.E.H.; Velez, J.I.L.; García, K.A.H.; Hernández, L.C.T. Los sistemas biofloc: una estrategia eficiente en la producción acuícola. *Rev. CES Med. Vet. y Zootec.* **2019**, 14, 70-99.
16. Monroy-Dosta, M. del C.; Lara-Andrade, D.; Castro-Mejía, J.; Castro-Mejía, G.; Coelho-Emerenciano, M.G. Composición y abundancia de comunidades microbianas asociadas al biofloc en un cultivo de tilapia. *Rev. Biol. Mar. Oceanogr.* **2013**, 48, 511-520.
17. Collazos-Lasso, L.F.; Arias-Castellanos, J.A. Fundamentos de la tecnología biofloc (BFT). Una alternativa

- para la piscicultura en Colombia. Una revisión. *Orinoquia* **2015**, 19, 77-86.
18. Collazos-Lasso, L.F. ASPECTOS TÉCNICOS CRUCIALES DE LA TECNOLOGÍA BIOFLOC-TBF, PARA LA PRODUCCIÓN INTENSIVA EN PISCICULTURA.
 19. Robles-Porchas, G.R.; Gollas-Galván, T.; Martínez-Porchas, M.; Martínez-Cordova, L.R.; Miranda-Baeza, A.; Vargas-Albores, F. The nitrification process for nitrogen removal in biofloc system aquaculture. *Rev. Aquac.* **2019**, n/a, doi:10.1111/raq.12431.
 20. Kathia, C.M.; del Carmen, M.D.M.; Aida, H.P.; Jorge, C.M.; Daniel, B.C. Probiotics used in Biofloc system for fish and crustacean culture: a review. *Int. J. Fish. Aquat. Stud.* **2017**, 5, 120-125.



© 2019 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).