



Informe técnico:

Factores que impulsan la deforestación en las cadenas de suministro agrícolas de la Amazonia

Noviembre de 2025

RESUMEN EJECUTIVO

Este informe técnico ofrece un análisis regional de los productos específicos de carácter agropecuario ligados a los motores de la deforestación en toda la región amazónica a nivel subnacional, así como sus

conexiones con el consumo vinculado al comercio nacional e internacional. Ofrece información útil para elaborar estrategias de conservación más eficaces y equitativas, en particular en lo que respecta a la posibilidad de influir en las cadenas de suministro de productos básicos que contribuyen a la pérdida de bosques. Integramos las estadísticas subnacionales de producción de productos agrícolas básicos con datos satelitales sobre el uso de la tierra de cada país de la región amazónica. Vinculamos esta información a un modelo híbrido multirregional de insumos y productos a escala reducida para asignar las actividades de producción a los factores que impulsan la demanda, ya sea dentro de los mercados nacionales o, a través del comercio, a los puntos de consumo regionales e internacionales. Dado que la deforestación agrícola y sus efectos climáticos asociados suponen una amenaza inminente para la región amazónica, mejorar la comprensión detallada de la deforestación específica de cada producto básico y su conexión con los mercados nacionales e internacionales puede empoderar a los actores y responsables políticos (sub)regionales, nacionales e internacionales para identificar los puntos críticos de riesgo y las tendencias en la exposición a la deforestación y orientar las intervenciones basadas en el lugar para apoyar el uso sostenible de la tierra y la conservación de los bosques en toda la región amazónica.

Conclusiones principales:

1. **La magnitud del problema es enorme.** Los productos básicos agrícolas, la producción de carne de vacuno y, en menor medida, las plantaciones madereras están asociados a 8,6 millones de hectáreas de deforestación en la región amazónica entre 2018 y 2022. Esto representa el 36 % de la deforestación mundial total durante el mismo período. La deforestación relacionada con la ganadería es el principal factor directo, como resultado de la expansión de los pastos, y representa el 78 % (6,7 millones de hectáreas) de la deforestación total atribuida a los productos básicos en este período. Los sistemas de producción de Brasil están relacionados con la gran mayoría de la huella de la región amazónica, que asciende a un total de 6,5 millones de hectáreas durante este período. Más del 20 % de las huellas de deforestación mundial reciente de Portugal, Suiza, España y Corea del Sur se originaron en la región amazónica. El 59 % de la huella total de deforestación ganadera del mundo y el 33 % de la huella de deforestación de la soja del mundo se originaron en la región amazónica.
2. **La dinámica regional es importante.** La expansión de los pastos varía en todo el paisaje amazónico y es particularmente dominante en las partes oriental y central de la Amazonía, al tiempo que avanza hacia el interior. Aunque la ganadería domina en general, la expansión de los cultivos es un factor importante en otras zonas, especialmente en Bolivia, Ecuador y Perú. Esta expansión está asociada a una combinación de cultivos comerciales (como la soja, la palma aceitera, el cacao y el café) y cultivos que se consideran habitualmente básicos (como el arroz y el sorgo). La expansión de los pastos forma parte de un complejo proceso de transición en el uso de la tierra, en el que puede ser el resultado de la tala especulativa de bosques o servir como mecanismo para reclamar la tenencia de la tierra. Además, la expansión de la soja (y el maíz) sobre pastizales degradados o infrautilizados puede estar desplazando aún más los pastizales, lo que conduce a una pérdida adicional de bosques. Esta dinámica del uso de la tierra para cultivos y pastizales implica que el papel de los productos agrícolas básicos en la deforestación de la Amazonía se subestima inevitablemente por la atribución directa del cambio en el uso de la tierra.
3. **Tanto la demanda interna como la internacional son importantes factores que impulsan la deforestación del Amazonas.** La mayor parte del impacto agregado de la deforestación parece estar asociado a los mercados internos, debido al predominio de la expansión de los pastizales como cambio directo en el uso de la tierra tras la deforestación y al hecho de que el ganado criado en esas tierras se consume principalmente en el mercado interno. Sin embargo, la

demanda internacional de soja y maíz representa una mayor proporción de sus respectivas huellas. La presión para la expansión de la soja, que impulsa el desplazamiento de los pastos hacia nuevos frentes de deforestación, también indica una influencia más pronunciada de los mercados internacionales en la región amazónica. Las huellas de deforestación de productos básicos como el maíz y la palma aceitera han aumentado considerablemente.

4. **Es fundamental seguir invirtiendo en el suministro de datos y la transparencia.** Si bien el análisis proporciona niveles sin precedentes de granularidad regional sobre los factores locales y remotos que impulsan la deforestación relacionada con los productos básicos, las mejoras en los datos siguen siendo fundamentales para desarrollar conocimientos aún más sólidos y para los procesos de seguimiento en curso. Esto incluye los biomas no forestales, además de los sistemas forestales. Las lagunas existentes en el conocimiento sobre dónde se cultivan los productos y dónde se originan los flujos comerciales requieren mayores niveles de divulgación de la producción y la cadena de suministro. La mejora de los datos es fundamental para mejorar las evaluaciones de riesgos, orientar las prácticas de conservación hacia las zonas de riesgo actual y emergente, evitar el desplazamiento de la actividad de deforestación a paisajes vecinos e internacionales y, en términos más generales, promover la rendición de cuentas por los impactos de los actores que operan dentro y fuera de la región amazónica.

1. Deforestación en la Amazonía

La región amazónica, tal y como la define RAISG [1], abarca 843 millones de hectáreas que cubren ocho países y un territorio. Las selvas tropicales dominan este paisaje, con la Amazonía representando el 82,3 % de la superficie, seguida del Cerrado (11,3 %) y proporciones más pequeñas del Pantanal, Chiquitania, Chaco y otros biomas (6,4 %). En 2023, la cobertura del suelo de la región amazónica consistía en un 82 % de formaciones forestales, un 12,4 % de bosques inundados y un 5,6 % de formaciones de sabana [2]. Este informe técnico se centra en examinar la deforestación —la conversión permanente de formaciones forestales a otros usos del suelo— y sus vínculos con la producción, el comercio y el consumo de productos básicos.

Existe una creciente preocupación por que la región amazónica pueda verse empujada más allá de los límites operativos ecológico-climatológicos seguros, e incluso pueda estar acercándose a un punto de inflexión crítico, debido a la pérdida y degradación de sus bosques naturales, junto con los efectos del cambio climático [3-7]. Esto se debe principalmente a la expansión de la agricultura, así como a las actividades persistentes e insostenibles de tala y minería, todo ello facilitado por el desarrollo de carreteras [8]. Estos factores se ven agravados cada vez más por el cambio climático. Los cambios en los regímenes de precipitaciones, el aumento de las temperaturas y la intensificación de las sequías interactúan con la deforestación y amplifican la frecuencia y la gravedad de los incendios [4,9]. Las crecientes presiones en la Amazonía tienen implicaciones que van mucho más allá de la pérdida de bosques. La deforestación y la degradación forestal liberan cantidades significativas de gases de efecto invernadero (y los escenarios futuros proyectan la posibilidad de que se produzcan 40 giga toneladas más de emisiones de carbono para 2050 [10]), causan una pérdida irreversible de biodiversidad y alteran los sistemas de agua dulce [11]. Estos cambios refuerzan las retroalimentaciones regionales y climáticas, contribuyen al calentamiento global y a los cambios en los patrones de precipitaciones [12], y afectan a las comunidades locales y a la economía. La alteración de los ciclos de precipitaciones ya reduce la productividad agrícola y los ingresos (con estimaciones de pérdidas potenciales futuras de miles de millones de dólares para las industrias de la soja (5600 millones de dólares para 2050) y la ganadería (180 800 millones de dólares para 2050) [13]), amenaza los territorios indígenas [14] y socava la seguridad hídrica y alimentaria. En términos más generales, estos efectos climáticos y ecológicos en

cascada afectan al bienestar y la salud de las poblaciones rurales y urbanas que dependen de la Amazonía [15].

En el centro de estas crisis climáticas y de biodiversidad se encuentra la deforestación impulsada por los productos básicos [16]. Detener y revertir la pérdida de bosques y la conversión de otros ecosistemas naturales es esencial para detener la pérdida de biodiversidad, cumplir los compromisos climáticos y proteger los derechos y los medios de vida de los agricultores locales, las comunidades y los pueblos indígenas. Lograr cadenas de suministro libres de deforestación y conversión (DCF) es un paso fundamental. Iniciativas voluntarias como la Moratoria de la Soja Amazónica (que ha tenido un impacto demostrable en la reducción de la deforestación con bajos costos de oportunidad para los agricultores [17,18]) y marcos legales esenciales como la ley ambiental brasileña y el Reglamento de la UE sobre la deforestación (EUDR) han demostrado su impacto, pero se ven cada vez más amenazados por intentos de debilitar o dismantelar las medidas. Sin embargo, la urgencia de adoptar medidas decisivas a gran escala para revertir las presiones de deforestación en toda la región amazónica nunca ha sido mayor.

Este informe técnico resume las conclusiones de un estudio en profundidad (*de próxima publicación*) y el panel de datos que lo acompaña (<https://www.deforestationfootprint.earth/Amazon>), en los que se examina cómo la producción de productos agrícolas y forestales contribuye a la deforestación en la región amazónica y en qué medida se atribuye al consumo nacional, regional e internacional. Analiza la deforestación asociada a la producción de productos básicos en cada país amazónico, traza un mapa del flujo de productos básicos desde los países productores hasta los consumidores y destaca las principales tendencias que vinculan el consumo con la deforestación. En comparación con evaluaciones anteriores, este análisis atribuye la deforestación con un nivel de resolución sin precedentes. Al integrar la mejor información disponible sobre el uso de la tierra procedente de conjuntos de datos de teledetección publicados con estadísticas de producción agrícola nacionales y subnacionales de organismos estadísticos reconocidos, capta la deforestación impulsada por los productos básicos a nivel subnacional en todos los países amazónicos. Esto mejora la granularidad con la que se puede vincular la deforestación con la producción y el comercio de productos básicos, y contribuye a una comprensión más profunda de las variaciones intrarregionales dentro de la región amazónica. En última instancia, el objetivo de este análisis es proporcionar una comprensión más clara de los factores que impulsan la deforestación relacionada con los productos básicos y las vías a través de las cuales el consumo influye en la deforestación, reforzando así la base empírica para las intervenciones públicas y privadas destinadas a detener y revertir la pérdida de bosques.

2. Resumen metodológico

2.1 Relación entre la deforestación y la producción de productos básicos en toda la Amazonía

Nuestro análisis de atribución de la deforestación combina datos geoespaciales con estadísticas sobre el uso del suelo asociadas a tierras de cultivo, pastos y plantaciones forestales, siguiendo la metodología desarrollada para el modelo Deforestation Drivers and Carbon Emissions (DeDuCE) [19]. Para algunos productos básicos y usos del suelo, se dispone de datos geoespaciales, lo que nos permite atribuir con seguridad la deforestación espacialmente. Por ejemplo, la superposición de mapas fechados de las zonas de cultivo de soja y pastos donde antes había bosques nos permite atribuir la deforestación a la soja, la carne de vacuno y el cuero (nos referimos a esto como cambio directo en el uso del suelo; *dLUC*). Sin embargo, cuando la deforestación no puede atribuirse directamente a un producto agrícola o forestal concreto a través de datos espaciales —lo que ocurre con todos los cultivos excepto la soja, el aceite de palma, el coco y (en Brasil) la caña de azúcar—, el modelo se basa en estadísticas de uso del

suelo para inferir los factores de la deforestación (lo que denominamos cambio estadístico en el uso del suelo; *sLUC*).

La combinación de estos métodos tiene dos implicaciones principales. En primer lugar, permite una evaluación equilibrada de la deforestación relacionada con *toda* la producción agrícola registrada en la región, lo que permite evaluar de manera holística los puntos críticos y las tendencias del impacto en todos los paisajes y evitar un enfoque más miope de «un solo producto» sobre la cuestión. Sin embargo, también requiere una combinación de atribución directa y granular de la deforestación a la expansión de los cultivos (a través de datos geoespaciales) y una asignación estadística más incierta, que capta el potencial de una combinación de dinámicas directas e indirectas de cambio en el uso del suelo.

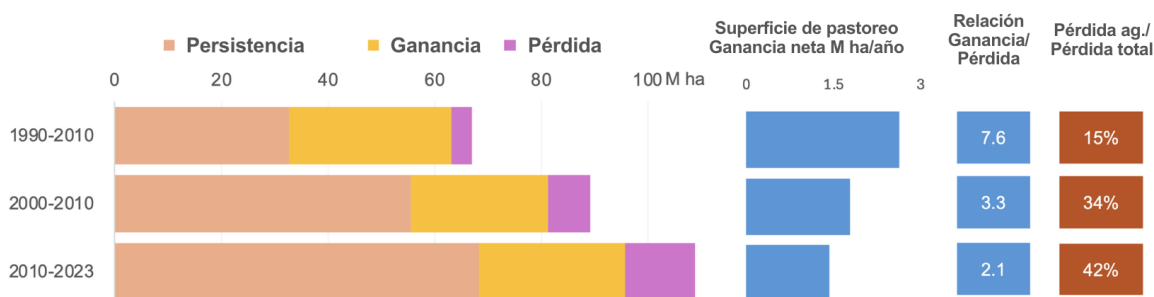
Cabe señalar que esta atribución no *siempre* capta el uso final de la tierra. Por ejemplo, en nuestro análisis, si se identifica el pastoreo como uso de la tierra tres años después de la tala del bosque, se considera el factor directo de la deforestación (es decir, *dLUC*). Sin embargo, si posteriormente este pastizal se convierte en soja, nuestro marco de atribución sigue asignando la deforestación al pastizal, aunque la producción de soja sea en última instancia responsable del cambio posterior en el uso de la tierra. Además, en muchos casos, la deforestación impulsada por la expansión de los pastizales puede estar motivada por la especulación con la tierra o por justificar la propiedad de la tierra, más que por una intención genuina de dedicarse a la ganadería, y puede llevar algún tiempo que esa tierra se utilice de forma productiva. Esto complica aún más la atribución de la deforestación a la producción de productos básicos que suponen un riesgo para los bosques (véase el anexo). En el recuadro 1 se incluyen explicaciones adicionales de estas interacciones. En resumen, capturamos los factores proximales de la deforestación, mientras que los factores últimos pueden ser más complejos e indirectos.

Recuadro 1: Transiciones en el uso de la tierra relacionadas con los pastizales en la región amazónica

Si bien la expansión de los pastizales es el uso directo más significativo de la tierra después de la deforestación, forma parte de un proceso más complejo de transiciones en el uso de la tierra. Según Mapbiomas Amazon [20], la mayor parte de la expansión de los pastizales se origina en bosques o, en menor medida, en sabanas naturales y usos mosaicos de la tierra. Los pastizales también se transforman en otros usos de la tierra, como la soja y otros cultivos, y se produce un cierto crecimiento de vegetación secundaria en pastizales degradados y abandonados.

En la región amazónica, se ha producido un aumento neto de la superficie de pastizales a lo largo del tiempo, como se ilustra en la Figura 1, que muestra las tendencias en tres periodos. Sin embargo, el aumento neto medio anual ha disminuido de 2,6 millones de hectáreas/año entre 1990 y 2010 a 1,4 millones de hectáreas/año entre 2010 y 2023. A pesar de esta tendencia a la baja en la expansión de los pastizales, se sigue convirtiendo más tierra en pastizales —principalmente a expensas de los bosques— que la que se pierde para otros usos del suelo. Además, si se tienen en cuenta todas las tierras de pastizales convertidas a otros usos (por ejemplo, regeneración forestal, usos mosaicos, agricultura), la proporción de pastizales que pasan de ser pastizales a tierras agrícolas —principalmente para el cultivo de soja— también ha crecido de forma constante en los últimos años, aunque en términos absolutos sea relativamente pequeña.

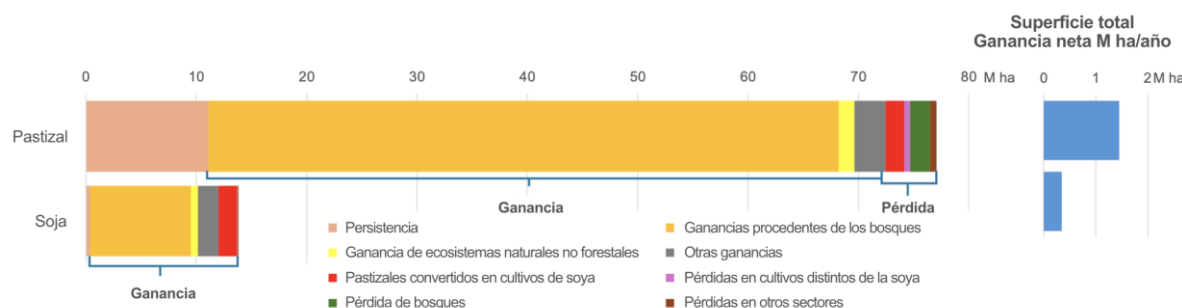
Figura 1. Persistencia, ganancia y pérdida de pastizales en la región amazónica entre 1990 y 2023



Nota: **Persistencia** se refiere a la superficie de pastizales que permaneció sin cambios al inicio del periodo seleccionado. **Ganancia** se refiere al crecimiento de nueva superficie de pastizales a expensas de otros tipos de cobertura y uso del suelo en el periodo seleccionado. **Pérdida** se refiere a los pastizales que pasaron a tener otros tipos de cobertura y uso del suelo en el periodo seleccionado. Elaboración de los autores basada en datos de transición del uso del suelo de Mapbiomas Amazon, Colección 6.0. El análisis adopta la definición de RAISG de la región amazónica.

En la Amazonia legal brasileña, por ejemplo, en las zonas que experimentan una expansión agrícola activa —principalmente en el sur de Mato Grosso y, cada vez más, en el sur y el este de Pará— el cultivo de soja sustituye con frecuencia a los pastizales degradados o infrautilizados, a menudo como parte de un régimen de doble cultivo (por ejemplo, soja-maíz). Según Mapbiomas Brasil [21], de los 13,7 millones de hectáreas cultivadas con soja en la Amazonia legal brasileña en 2024, el 66 % (9,1 millones de hectáreas) se obtuvo a expensas de formaciones forestales entre 1985 y 2024. Las transiciones restantes implicaron otros cultivos y tierras mosaico (13 %, o 1,8 millones de hectáreas), y pastizales ya establecidos (12 %, o 1,7 millones de hectáreas) (Figura 2). La moratoria de la soja ha tenido un impacto demostrable en la reducción de la expansión de la soja en las tierras forestales naturales. Sin embargo, esto también motivó a los productores de soja a plantar en pastizales, lo que podría conducir a una expansión indirecta de los pastizales [22].

Figura 2. Expansión de pastizales y cultivos de soya en la Amazonía legal brasileña entre 1985 y 2024



Nota: **Persistencia** se refiere a las áreas de pastizales y soya que permanecieron sin cambios. **Ganancia** se refiere al área convertida a pastizales o soya a partir de otros tipos de cobertura y usos del suelo. **Pérdida** se refiere a las áreas de pastizales o soya que pasaron a tener otros tipos de cobertura y usos del suelo. Elaboración de los autores basada en datos de transición del uso del suelo de Mapbiomas Brasil, Colección 10.0 (Mapbiomas, 2025).

Además, aunque los pastizales son uno de los principales factores de la deforestación, su expansión hacia los bosques también tiene otro propósito. La ganadería bovina proporciona un medio barato y eficaz para justificar la propiedad de la tierra, a menudo como parte de una estrategia deliberada para establecer o reforzar reclamaciones informales de tierras. Este proceso de acaparamiento de tierras es más extenso en las tierras públicas no designadas [23]. Además, la adquisición de tierras también está motivada por la especulación inmobiliaria, ya que los precios de las tierras forestales pueden reflejar las expectativas de convertir los bosques en tierras de uso agrícola [24].

2.2 Vincular la deforestación con el comercio y el consumo para proporcionar huellas de deforestación

Para comprender cómo el comercio y el consumo de productos básicos impulsan la deforestación, es necesario rastrear la pérdida de bosques a lo largo de las complejas cadenas de suministro de productos agrícolas y forestales, desde la producción en la región amazónica hasta los consumidores finales, pasando por las redes de comercio internacional. Para ello se pueden adoptar múltiples enfoques, entre ellos los relacionados con los productos básicos comercializados directamente, los que ajustan el comercio a las actividades de reexportación o los basados en el consumo, que trazan un mapa de la producción a través del comercio internacional y la transformación hasta las actividades de consumo final¹. Cada enfoque ofrece perspectivas distintas (véase el [panel de control](#) adjunto para consultar los resultados). En este informe técnico, nos centramos únicamente en los resultados impulsados por el consumo, ya que estos proporcionan la visión más completa de cómo las actividades económicas aguas abajo influyen en la producción —y, por lo tanto, en la deforestación— en la Amazonía.

Para crear nuestra huella basada en el consumo, tomamos las estadísticas de comercio directo de FAOSTAT [25] y UN Comtrade [26] sobre los flujos bilaterales entre los países exportadores e importadores, según lo informado por los países exportadores para el período 2005 a 2022. Por lo tanto, no se tendrán en cuenta las actividades comerciales no declaradas (incluidas las ilegales). Estos datos, en combinación con los datos de producción, se ajustan posteriormente para tener en cuenta el

¹ Las perspectivas del comercio directo tienen en cuenta el intercambio de productos básicos del punto A al punto B. Los enfoques ajustados a la reexportación tienen en cuenta y ajustan el hecho de que el punto A puede no ser el verdadero origen del suministro si los materiales transitan por otros países. Los enfoques basados en el consumo tienen en cuenta el uso posterior de los materiales, incluido el procesamiento, el comercio posterior y el uso integrado en las actividades más amplias de la economía mundial que, en última instancia, están impulsadas por la demanda de consumo humano.

comportamiento de las reexportaciones, con el fin de proporcionar estimaciones de los flujos desde el origen hasta el destino final, eliminando a los intermediarios comerciales. Por último, estos flujos de reexportación se introducen en el marco del Análisis de Comercio de Entradas y Salidas (IOTA), un modelo híbrido físico-monetario multirregional de entradas y salidas (MRIO) que combina datos a nivel de productos básicos en unidades físicas con datos de gasto monetario sectorial derivados del MRIO GLORIA [27], con el fin de trazar la cadena de suministro completa desde los productores hasta los consumidores para cada producto básico [28]. Los puntos de consumo identificados en el análisis incluyen el consumo interno (es decir, los materiales consumidos en el mismo país en el que se producen), el consumo regional (es decir, la producción en un país amazónico consumida en otro país sudamericano) y el consumo internacional (es decir, la producción vinculada a mercados de otras partes del mundo).

Dado que los datos sobre la actividad comercial originada en la Amazonía solo están disponibles de forma exhaustiva a nivel nacional, los reducimos a las regiones de producción subnacionales utilizando un enfoque proporcional simple, suponiendo que cada región subnacional contribuye al comercio en proporción a su participación en la producción total del país. Por ejemplo, si una región subnacional produce el 20 % de la producción de soja de un país, asignamos el 20% de las exportaciones nacionales de soja a esa región. Este método proporciona una forma sencilla de vincular los datos comerciales nacionales con la producción subnacional, pero no capta la heterogeneidad en materia de infraestructura, abastecimiento de la cadena de suministro o acceso al mercado que puede hacer que determinadas regiones contribuyan de manera desproporcionada a las exportaciones. Por lo tanto, el método debe considerarse una estimación, más que una representación completa de la dinámica comercial.

Los resultados iniciales del consumo incluyen tanto la producción vinculada a la Amazonía como la no vinculada a la Amazonía y la deforestación asociada. Para aislar los resultados específicos de la región amazónica, aplicamos un factor de escala para cada producto básico y año que tiene en cuenta la diferencia proporcional dentro de cada país productor o subregión entre la deforestación no específica de la Amazonía y la específica de la Amazonía.

3. Los factores que impulsan la deforestación en la Amazonía

3.1 Impactos de la producción agrícola

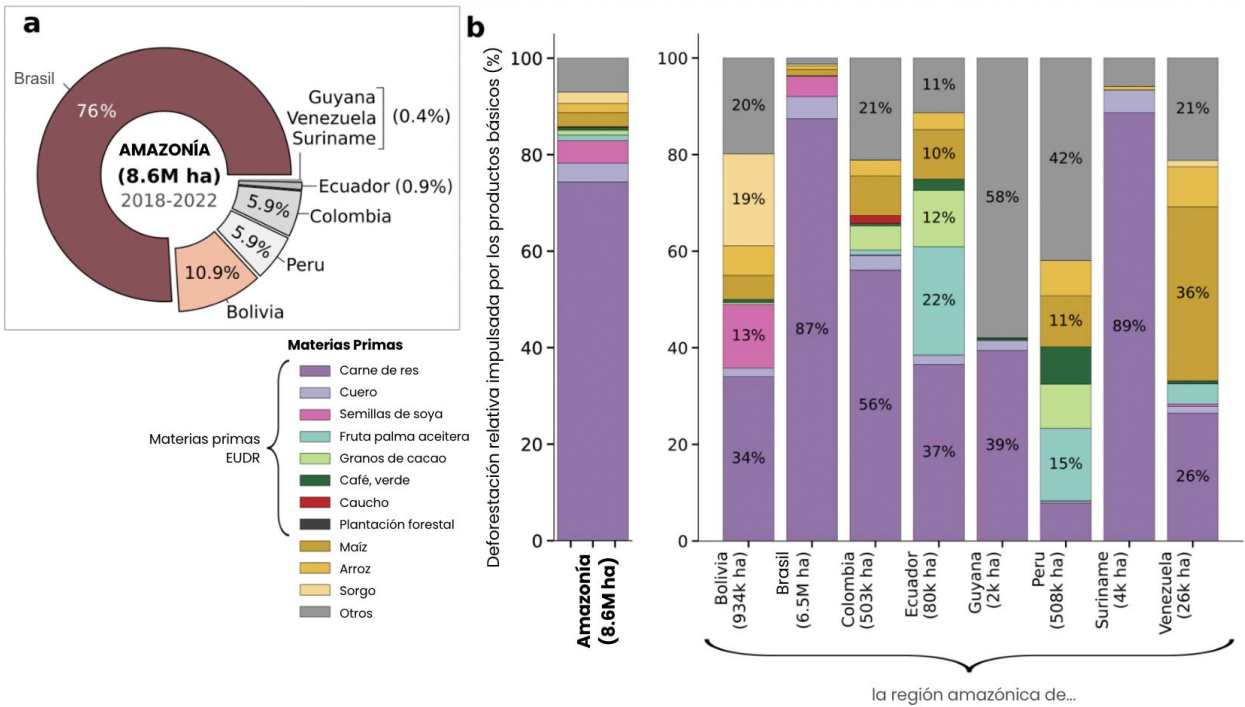
Nuestro análisis revela que los productos agrícolas, la producción ganadera y, en menor medida, las plantaciones madereras están relacionados con 8,6 millones de hectáreas de deforestación en la región amazónica entre 2018 y 2022 (Figura 3). Esta superficie es mayor que la de Austria y representa el 36 % de la deforestación mundial total durante el mismo periodo.

El ganado, principalmente para carne pero también para cuero, es el principal factor directo de la deforestación relacionada con los productos básicos, debido principalmente a la expansión de los pastos (6,7 millones de hectáreas, 78 %), seguido del cultivo de soja (0,4 millones de hectáreas, 4,6 %). Sin embargo, la dinámica del uso de la tierra relacionada con la soja y los pastos funciona en una compleja interacción que se explica en el Recuadro 1. A estos dos importantes factores directos les siguen varios cultivos agrícolas, que también están vinculados a los mercados de exportación, pero cuya influencia en la deforestación es más limitada, equivalente a 1,5 millones de hectáreas (17,4 % de la deforestación total atribuida). Los sistemas de producción de Brasil representan la mayor parte de la huella de deforestación regional (Figura 3a), con 6,5 millones de hectáreas (76 %) de deforestación durante el periodo, seguidos por Bolivia (934 000 hectáreas), Perú (509 000 hectáreas) y Colombia (503 000

hectáreas). Los pastos para el ganado son el principal factor de deforestación en la región amazónica de Brasil y Surinam. Si bien su proporción es relativamente menor en otros países amazónicos, sigue desempeñando un papel importante en Colombia y, en menor medida, en Bolivia, Ecuador y Guyana (Figura 3b). En Bolivia, Ecuador, Perú y Venezuela, los cultivos tradicionalmente considerados «básicos» (por ejemplo, el sorgo y el arroz) se asocian cada vez más con la actividad de deforestación, dada la expansión de estos cultivos en los últimos años. Además, los cultivos comerciales como la palma aceitera, el cacao y el café se han expandido en Ecuador y Perú, lo que representa una parte sustancial de la huella de deforestación amazónica en estos países.

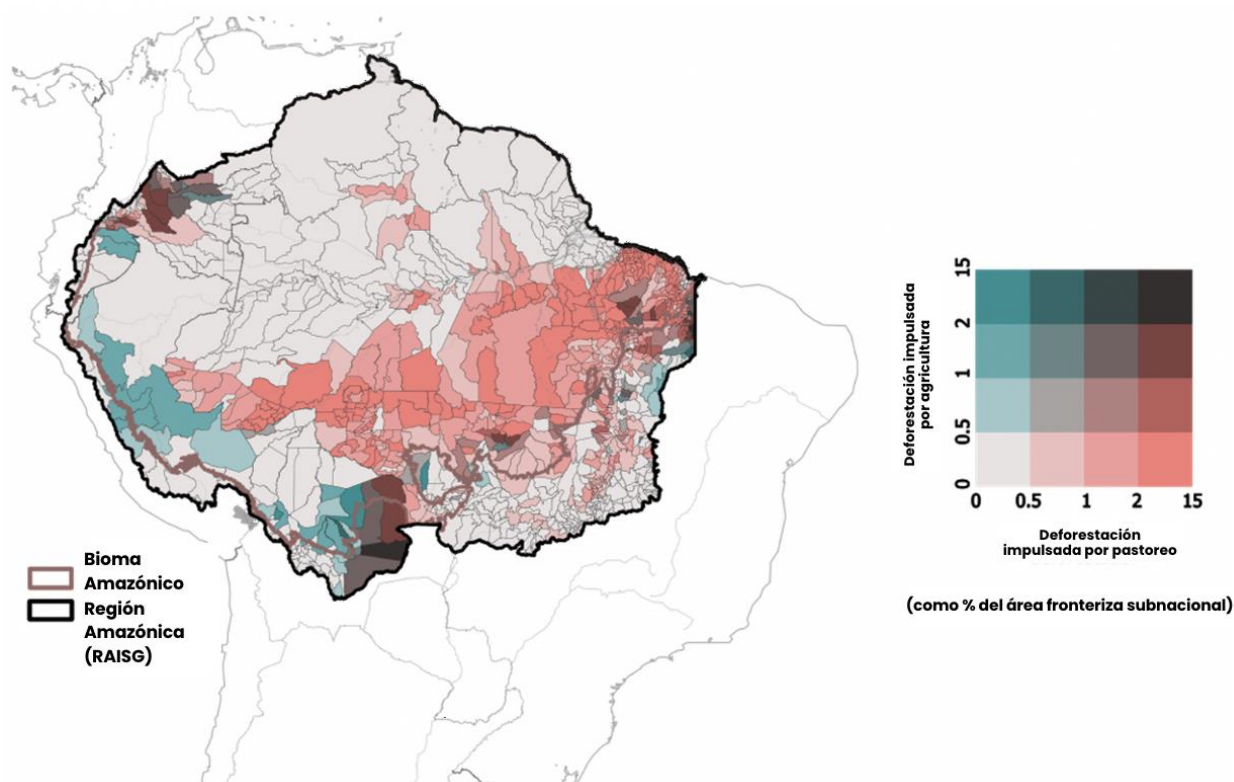
En general, aunque la ganadería sigue siendo el factor dominante (la expansión de las tierras de cultivo representa solo el 22 % de la deforestación total entre 2018 y 2022, frente al 78 % de la ganadería), una tendencia crítica emergente durante este período indica que la expansión de los cultivos se está convirtiendo en un factor más frecuente de deforestación en toda la región amazónica, especialmente en Bolivia, Ecuador, Perú y Venezuela.

Figura 3. Factores inmediatos de la deforestación en toda la región amazónica (2018-2022). Los límites de la región amazónica, según la definición de RAISG, se muestran en la Figura 4.



Los patrones de deforestación subnacionales (Figura 4) en toda la Amazonía revelan factores proximales distintos (2017-2021), con el pastoreo predominando en las partes oriental y central de la Amazonía, pero avanzando hacia el interior de la región, y la expansión de los cultivos prevaleciendo en las subregiones occidental, meridional y noroccidental. Estos resultados ponen de relieve la necesidad de estrategias e intervenciones específicas para abordar la deforestación, adaptadas a los contextos subnacionales concretos.

Figura 4. Las tierras de cultivo y los pastizales como factores dominantes de la deforestación en la región amazónica (2017-2021), representados como porcentaje del área subnacional. En este caso, los valores totales de deforestación se refieren a la deforestación asociada a la producción de productos agrícolas y forestales. No podemos realizar este análisis para el período 2018-2022 debido a la falta de estadísticas agrícolas subnacionales para 2022 en todos los países amazónicos, con la excepción de Brasil.



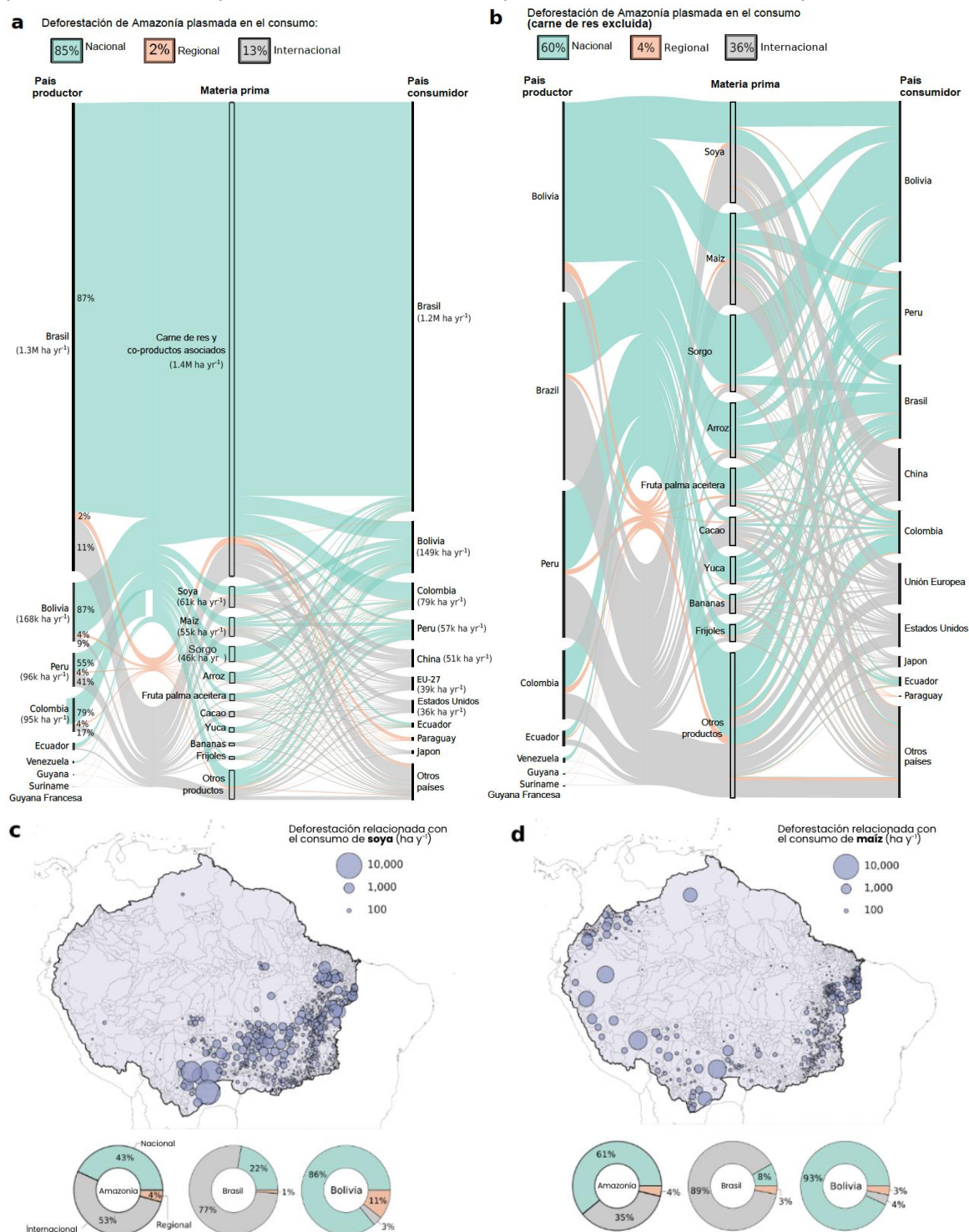
3.2 Mercados de productos básicos vinculados a la deforestación

El seguimiento de las cadenas de suministro es esencial para comprender el papel del comercio y el consumo nacionales e internacionales en el impulso de la deforestación, al tiempo que se identifica el papel potencial de los mercados en las soluciones. Nuestro análisis muestra que, al considerar el uso directo de la tierra después de la deforestación para el período reciente de 2018-2022, gran parte de la deforestación en la región amazónica está vinculada a los mercados nacionales, aunque países como Perú se desmarcan de esta tendencia con una mayor proporción de su huella de deforestación asociada a los mercados internacionales (Figura 5). El papel predominante de los mercados nacionales se debe al papel de los pastos en las actividades de deforestación en toda la región. Por el contrario, la soja (junto con el maíz, que puede cultivarse en rotación junto con la soja) está más claramente asociada a la demanda de los mercados internacionales, por ejemplo, para su uso en la alimentación animal. Sin embargo, como ya se ha mencionado, es probable que la expansión de la soja también actúe como un impulsor indirecto de parte de la deforestación atribuida a la expansión de los pastos, lo que no se cuantifica directamente en la huella de la soja.

La distribución de los impactos, tanto en términos de destino como de origen, varía según el producto y el país de origen. Como se ilustra en la Figura 5c, la demanda internacional representa la mayor parte de

la huella de deforestación de la soja brasileña (y de la soja de la región en general, que se concentra principalmente en la región sudoriental de la Amazonía). Sin embargo, en Bolivia, la demanda interna y un componente sustancial de la demanda regional representan conjuntamente el 97 % de la huella de la soja. En el caso del maíz (Figura 5d), cuya huella de deforestación es comparable a la de la soja en general para el período 2020-2022, el impacto se concentra en las regiones occidentales de la Amazonía, con una mayor proporción total destinada al consumo interno, aunque la producción brasileña sigue destinándose predominantemente a los mercados internacionales (en mayor medida incluso que la soja).

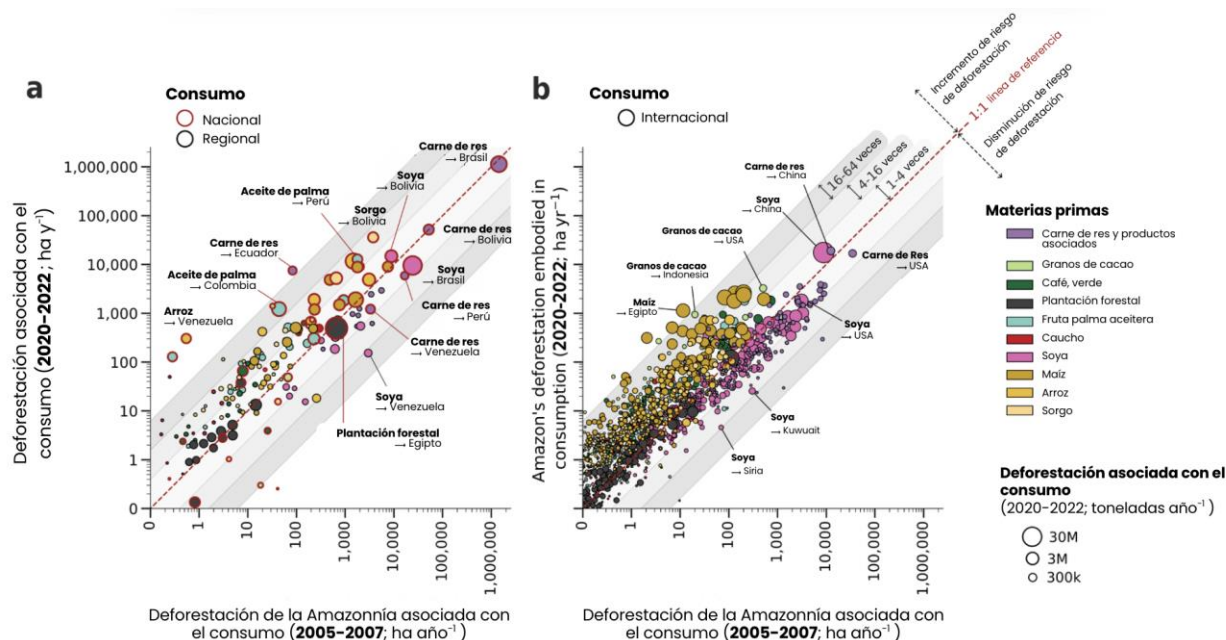
Figura 5: Huellas de deforestación vinculadas al consumo nacional, regional e internacional para el período 2020-2022, (a) con y (b) sin carne de vacuno. Aquí, la agregación regional incluye todos los países sudamericanos y el grupo «Resto de América». Los gráficos espaciales en c, d corresponden al período 2019-2021 por las mismas razones que se mencionan en la leyenda de la Figura 4.



Es importante destacar que estos patrones de consumo, y la huella de deforestación asociada a este consumo, distan mucho de ser estáticos. La Figura 6, que compara la huella de los productos básicos

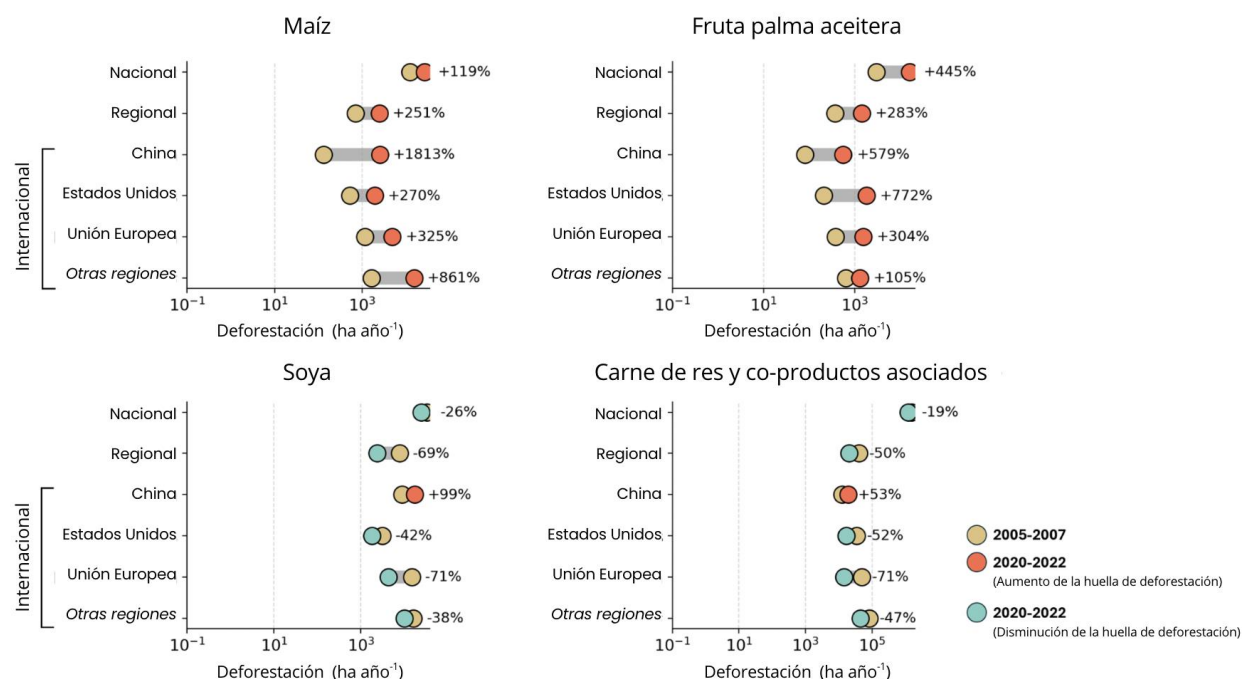
individuales en la primera parte de nuestra serie temporal (2005-2007) con la última parte (2020-2022), revela que los cambios en los patrones de comercio y consumo pueden tener repercusiones notables y variables en la dinámica del cambio en el uso de la tierra. Por ejemplo, la huella asociada a la soja de Brasil ha disminuido al comparar los resultados de principios de nuestra serie temporal con los datos más recientes, al igual que la contribución de la carne de vacuno vinculada a las huellas de Perú y Venezuela (Figura 6a). La huella asociada a la soja y la carne de vacuno destinadas a China ha aumentado a lo largo de la serie temporal, mientras que ocurre lo contrario desde la perspectiva de la huella de Estados Unidos (Figura 6b). La Figura 6b también revela el papel cambiante de determinados productos básicos en lo que respecta a las huellas internacionales, con una tendencia general a la disminución de la huella de cada país de destino asociada a la soja, mientras que las contribuciones del maíz, el arroz y el sorgo, el café y el cacao han tendido a tener una huella mayor en la parte posterior de la serie temporal en comparación con la anterior.

Figura 6: La huella de deforestación de los productos básicos desde la perspectiva de los países/regiones de consumo, comparando el período 2005-2007 con el período 2020-2022.



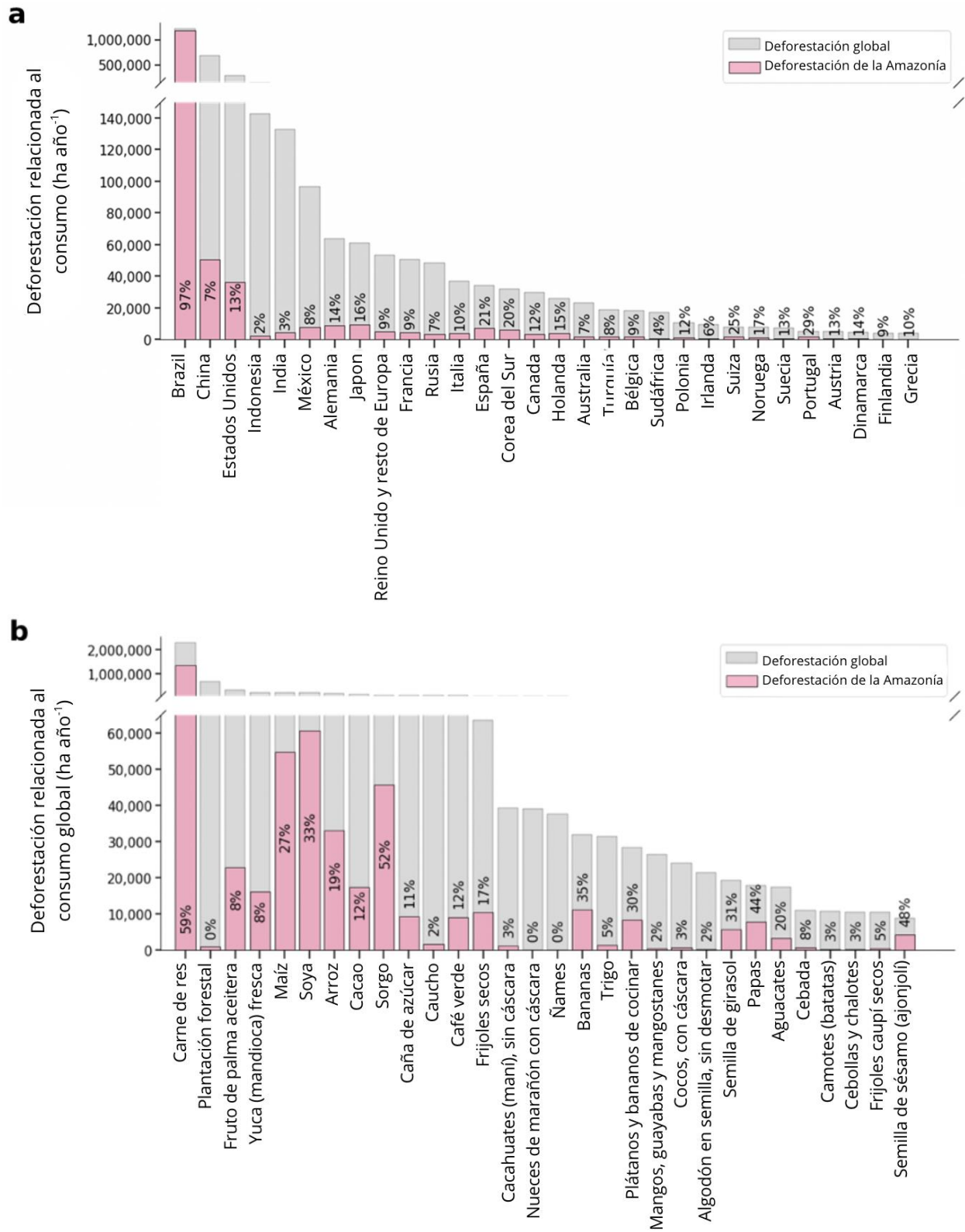
La Figura 7 destaca aún más cómo los cambios específicos de cada destino en la demanda de productos básicos se traducen en resultados divergentes en materia de deforestación. En el caso del maíz y la palma aceitera, la demanda internacional —en particular de China, los Estados Unidos, la Unión Europea y otros países— ha provocado un fuerte aumento de la huella de deforestación entre 2005-2007 y 2020-2022, en algunos casos de varios cientos por ciento. Por el contrario, la huella de deforestación asociada a la soja y la carne de vacuno ha disminuido en general en la mayoría de los destinos, con notables excepciones en China, donde ambos productos básicos muestran aumentos. Esta divergencia pone de relieve que, mientras que algunas cadenas de suministro están reduciendo su intensidad de uso de la tierra, otras están emergiendo como impulsoras cada vez más importantes del cambio en el uso de la tierra, lo que ilustra la naturaleza dinámica y regionalmente diferenciada de la huella de deforestación.

Figura 7: Tendencias de la huella de deforestación de los principales productos agrícolas y sus destinos de consumo, comparando el período 2005-2007 con el período 2020-2022.



Como muestra la Figura 8, la Amazonía en su conjunto desempeña una función muy importante en los mercados mundiales, ya que más del 20 % de la huella de deforestación mundial de Brasil, Portugal, Suiza, España y Corea del Sur, y más del 15 % de la huella mundial de Noruega, Japón y los Países Bajos están asociados a la región amazónica (Figura 8a). La deforestación por producto asociada a los mercados mundiales de ganado (59 %), sorgo (52 %), semillas de sésamo (48 %), patatas (44 %), plátanos (35 %), soja (33 %), plátanos macho (30 %), semillas de girasol (31 %) y maíz (27 %) también está determinada en gran medida por lo que ocurre en la región amazónica (Figura 8b).

Figura 8: Contribución de la Amazonía a la deforestación mundial en los principales mercados descendentes (media 2020-2022).



4. Resumen y conclusiones

En general, nuestro análisis demuestra el papel fundamental, aunque regionalmente distinto y cambiante, que desempeña la producción de materias primas en la deforestación de la región amazónica. La región amazónica es una importante fuente de producción agrícola para los mercados nacionales, regionales e internacionales, siendo el ganado y la soja los principales impulsores de la deforestación, junto con la creciente demanda de productos como el maíz, la palma aceitera, el arroz, el sorgo, el café y el cacao. Este análisis, y el panel de control que lo acompaña (<https://www.deforestationfootprint.earth/Amazon>), sirven para ilustrar que, al combinar los últimos datos espaciales y estadísticos, podemos proporcionar nuevos conocimientos a escala paisajística sobre los factores que impulsan la deforestación, cuando se relacionan con el comercio y el consumo. Esto puede apoyar intervenciones subregionales específicas en puntos críticos clave y dentro de cadenas de suministro clave que están implicadas en la deforestación en la Amazonía.

Nuestros datos ilustran el papel fundamental y continuo de la expansión de los pastizales como factor directo de la deforestación en toda la región amazónica, responsable, según nuestras estimaciones, del 78 % de la actividad de deforestación inmediata entre 2018 y 2022, y que predomina en las regiones oriental y central, al tiempo que avanza hacia el interior de la Amazonía. La gran mayoría de la carne de vacuno producida en los pastizales resultantes se destina a los mercados nacionales. Sin embargo, la dinámica de la expansión de los pastizales es complicada. La expansión de los pastizales se utiliza a menudo como mecanismo para reclamar la tenencia de la tierra o como resultado de la conversión especulativa de la tierra. Algunas tierras que originalmente se convirtieron en pastizales también están destinadas a convertirse en tierras de cultivo para la producción rotativa de soja y maíz, cuyos impulsores están asociados a una combinación de demanda nacional e internacional, y con nuestras estimaciones de la soja y el maíz como impulsores de la deforestación, lo que probablemente subestime el verdadero papel de estos cultivos en la actividad de deforestación de la Amazonía.

La indicación de que los cultivos (incluidos los básicos) son un factor cada vez más importante de la deforestación en la Amazonía (especialmente en las subregiones occidental y meridional) sirve para ilustrar la importancia de supervisar el alcance y los factores que impulsan la conversión de tierras para la producción agrícola en su conjunto y en todos los paisajes, y no limitar el análisis al impacto de un solo producto básico en los bosques. Las amenazas actuales a la continuidad de la moratoria de la soja en la Amazonía ofrecen la posibilidad de acelerar aún más el papel de los cultivos como uno de los principales factores de deforestación en grandes partes de la Amazonía brasileña, por lo que es de vital importancia para la región seguir invirtiendo en el seguimiento de los factores inmediatos y últimos de la deforestación, entre otras cosas mediante la promoción de la transparencia de los datos sobre el comercio y la cadena de suministro por parte de las instituciones públicas y el sector privado.

Este análisis más detallado de la región amazónica tiene importantes implicaciones para las principales agendas de deforestación cero, en particular las impulsadas desde Europa. Como se ha ilustrado, la deforestación en la región amazónica contribuye en gran medida a la huella global de varios países importadores, un hecho que debería seguir motivando la creación de mecanismos y requisitos de transparencia sólidos para el abastecimiento de estos mercados finales [29,30]. El análisis de la deforestación y el comercio que se presenta aquí es posible y se ve reforzado por la disponibilidad de información estadística y geoespacial sobre los cultivos, algo que es bastante exclusivo de la región amazónica, y subraya la importancia de invertir en el suministro de datos y desarrollar evaluaciones similares y detalladas de los factores que impulsan la deforestación en otras regiones. Esto incluye

prestar atención al Cerrado en Brasil y otros biomas críticos de América del Sur, como la Mata Atlántica y el Chaco, donde el cambio en el uso de la tierra puede desplazarse si los esfuerzos para frenar la deforestación impulsada por la agricultura se centran únicamente en la Amazonía. También se extiende a regiones como África occidental y central y el sudeste asiático, donde los riesgos de deforestación agrícola han aumentado considerablemente.

Nuestro análisis recoge los factores inmediatos de la deforestación basándose en el uso inmediato del suelo tras la pérdida de bosques (cuantificado mediante los métodos utilizados para atribuir la expansión geoespacial o estadística de los cultivos a una producción e), pero la expansión de los productos básicos también puede estar relacionada a menudo con interacciones complejas entre el desarrollo de infraestructuras, la especulación con el suelo y la transición consecutiva de la ganadería extensiva y los cultivos «básicos» a cultivos «comerciales» orientados a la exportación. La producción de productos básicos agrícolas también puede coexistir con otros factores de deforestación, como el cambio climático, la minería y la tala. Nuestro análisis tampoco distingue entre las formas industriales o más tradicionales de agricultura y, por lo tanto, no puede arrojar luz sobre la presencia de sistemas de menor impacto que adoptan, por ejemplo, principios agroecológicos que pueden funcionar de manera sostenible dentro de las fronteras de la deforestación. Esta dinámica, la conversión de paisajes más allá de los bosques y la influencia de la cadena de suministro en ellos, justifican una investigación más profunda en toda la región. Esto es necesario tanto para determinar en qué medida las estimaciones proporcionadas en los estudios de huella (como este) están sólidamente vinculadas a la realidad sobre el terreno, como para ayudar a determinar cómo los factores locales, regionales e internacionales de la cadena de suministro que impulsan la deforestación y la conversión interactúan con otras medidas políticas y/o intervenciones de apoyo en los paisajes con riesgo de deforestación.

Las mejoras en los datos siguen siendo fundamentales para desarrollar conocimientos aún más sólidos, ya que siguen existiendo limitaciones en cuanto al conocimiento de dónde se cultivan los productos y cómo se llevan a cabo los intercambios subnacionales. Seguir trabajando para integrar los conjuntos de datos locales y, en especial, para reunir y armonizar los datos geoespaciales regionales sobre los inventarios forestales [30,31] y la producción agrícola —incluida la que abarca cultivos ilegales como la coca en Colombia [32]— podría mejorar las estimaciones y reducir la dependencia de los enfoques estadísticos del cambio en el uso del suelo. En general, la eficacia de la supervisión se ve obstaculizada por los bajos niveles de transparencia y la falta de capacidades técnicas e institucionales de los organismos nacionales de estadística. Dicho esto, los estudios de huella, como los realizados en este análisis, proporcionan información fundamental sobre los factores que impulsan la deforestación y pueden ayudar a identificar los «puntos críticos» de riesgo y las oportunidades de actuación. Los datos proporcionados por nuestro análisis ya pueden servir de base para actividades como los enfoques basados en el riesgo que se están adoptando en la legislación sobre la cadena de suministro o las inversiones en regiones de alto riesgo, que deben tener en cuenta los factores locales que impulsan el cambio en el uso de la tierra a la hora de identificar soluciones y evitar efectos de fuga. El [panel de control que acompaña](#) a este análisis proporciona una gran cantidad de información sobre los puntos críticos de deforestación y sus vínculos con el comercio y el consumo, que los responsables de la toma de decisiones dentro y fuera de la cadena de suministro deberían explorar con fines de evaluación de riesgos.

Anexo: Interpretación de los resultados del modelo de deforestación DeDuCE

Bosques y deforestación:

Los bosques están compuestos por árboles que se han establecido mediante la regeneración natural. La conversión de estos bosques naturales a otros usos del suelo se denomina deforestación. Esta definición de bosques excluye las plantaciones forestales que se gestionan de forma intensiva para la producción de madera, fibra o energía. Reconociendo que no toda la vegetación leñosa constituye un bosque natural, aplicamos un umbral de densidad de cobertura arbórea ≥ 25 % por píxel y utilizamos una máscara global de plantaciones forestales para distinguir los bosques naturales de los gestionados. Los píxeles que no cumplen este criterio de bosque natural se excluyen de análisis posteriores (véase Singh y Persson [19] para una descripción detallada).

Es importante señalar que el conjunto de datos Global Forest Change [33] solo proporciona valores de densidad de la cubierta arbórea para el año 2000. Esto es coherente con nuestro enfoque de evaluar la deforestación entre 2001 y 2022. Sin embargo, significa que el conjunto de datos solo recoge el primer evento de pérdida registrado y no tiene en cuenta las ganancias forestales posteriores ni las pérdidas forestales secundarias. En consecuencia, las pérdidas de bosques secundarios —aquellos que se regeneran de forma natural tras la eliminación de bosques nativos después de 2000— no están representadas en nuestro análisis.

Conjuntos de datos utilizados en este análisis:

Conjuntos de datos espaciales	–	Cubierta arbórea y pérdida de cubierta arbórea de Global Forest Change [25]
	–	Pérdida de cobertura arbórea debido a incendios (Global) [25]
	–	Colección MapBiomas [21] (Sudamérica; además de las clases de cobertura del suelo de tierras de cultivo, pastos y plantaciones forestales, este conjunto de datos incluye productos básicos como la caña de azúcar, el arroz, el algodón en rama, los cítricos, el café y el fruto de la palma aceitera)
	–	Soja (Sudamérica)
	–	Caña de azúcar (Brasil)
	–	Fruta de palma aceitera y coco (global)
Conjuntos de datos estadísticos	–	Límites de la región amazónica del RAISG [1]
	–	Regiones subnacionales de GADM
	–	FAOSTAT [19]
	–	Instituto Brasileño de Geografía y Estadística (IBGE) [34]
	–	Base de datos sobre la producción agrícola subnacional mundial (GSAP) [35]

Atribución de la deforestación:

El modelo DeDuCE atribuye la deforestación superponiendo datos espaciotemporales globales sobre la pérdida de cobertura arbórea (del conjunto de datos sobre el cambio forestal global (GFC), que identifica la eliminación completa de la cobertura arbórea, es decir, la vegetación de más de 5 metros de altura, a una escala de píxeles de 30 metros) con conjuntos de datos sobre productos agrícolas (por ejemplo, la soja), el uso de la tierra (por ejemplo, MapBiomas), los principales factores de la pérdida de bosques, entre otros conjuntos de datos sobre la gestión forestal y las perturbaciones (por

ejemplo, la pérdida de cobertura arbórea inducida por incendios), para identificar la deforestación y sus factores utilizando los mejores datos disponibles por píxel.

En los casos en que la deforestación no puede asociarse directamente con un producto específico, el modelo utiliza estadísticas agrícolas, a nivel nacional y subnacional, para inferir los factores más probables o potenciales de la pérdida de bosques (véase Singh y Persson [19] para una descripción detallada). En este caso, utilizamos el conjunto de datos FAOSTAT y Global Subnational Agricultural Production (GSAP), siempre que están disponibles, para atribuir la deforestación en los países amazónicos. La extensión temporal del conjunto de datos GSAP se muestra en la Figura 2 de Ribeiro et al. [29].

Cuando nos enfrentamos a mosaicos de uso múltiple del suelo en MapBiomass [21] que mezclan tierras de cultivo, pastos o plantaciones forestales sin una demarcación clara, distribuimos la superficie de pérdida forestal dentro de estos mosaicos en proporción a la extensión de cada uso del suelo en relación con la expansión total observada del uso del suelo a nivel nacional (ya que carecemos de estadísticas sobre la cobertura y la expansión del suelo a nivel subnacional; véase Singh y Persson [19] para una descripción detallada).

Advertencias relacionadas con el cambio directo, estadístico/aproximado e indirecto del uso del suelo:

Nuestro análisis abre nuevos caminos al proporcionar información sobre las estimaciones de la deforestación impulsada por los productos básicos en toda la Amazonía. Sin embargo, las lagunas en los datos siguen haciendo necesaria la inclusión de enfoques estadísticos del cambio en el uso de la tierra (*sLUC*) para ofrecer una visión completa de la deforestación vinculada a la producción de productos básicos, lo que complica las conclusiones derivadas del análisis.

Como se ha mencionado anteriormente, si los píxeles de deforestación pueden atribuirse directamente a la expansión de un producto básico específico, se clasifican como cambio directo en el uso de la tierra (*dLUC*). Cuando el modelo utiliza estadísticas de producción agrícola a nivel nacional o subnacional para inferir los factores más probables de la deforestación, se denomina cambio estadístico en el uso de la tierra (*sLUC*). El cambio indirecto en el uso de la tierra se refiere a la deforestación o la conversión de la tierra que se produce como consecuencia secundaria de los cambios en el mercado o la producción, como cuando la expansión agrícola en una zona desplaza otros usos de la tierra a regiones forestales.

El modelo DeDuCE no estima explícitamente el cambio indirecto en el uso de la tierra. Sin embargo, es importante señalar que, cuando se utilizan estadísticas agrícolas para la atribución, estas indican la expansión de un cultivo u otro uso de la tierra dentro de la jurisdicción focal, y esta expansión puede no estar *siempre* directamente relacionada con la deforestación, ya que en realidad también puede desplazar otros cultivos hacia las fronteras de la deforestación. Por lo tanto, las estimaciones de la expansión estadística pueden considerarse una especie de «límite superior» para las estimaciones de la deforestación vinculada a la producción, con mayores niveles de incertidumbre en comparación con la atribución directa del cambio en el uso de la tierra basada en información geoespacial específica de los productos básicos. La continua dependencia de las estadísticas a nivel nacional, combinada con la falta de datos espacialmente explícitos sobre el uso de la tierra específicos para los diversos cultivos que se producen en la región, contribuye a este desafío.

Cuando están disponibles, el uso que hacemos de las estadísticas agrícolas subnacionales del IBGE y el GSAP ayuda a reducir estas incertidumbres y a mejorar la precisión de las estimaciones de la deforestación impulsada por los productos básicos. Sin embargo, las limitaciones actuales de los datos hacen que siga siendo difícil desentrañar el impacto de la dinámica más amplia y compleja del cambio en el uso de la tierra. Esto incluye, por ejemplo, la falta de inclusión del impacto de los productos básicos ilegales, que no se reflejan en las estadísticas nacionales de toda la región y, por lo tanto, son difíciles de incorporar en el marco regional de atribución de la deforestación. Estas limitaciones deben tenerse en cuenta a la hora de interpretar los resultados.

Tala especulativa:

Dinámicas como el uso de pastos como herramienta para la tala especulativa o para reclamar la propiedad de la tierra complican aún más la atribución de la deforestación a la producción de productos básicos que suponen un riesgo para los bosques. Si bien el objetivo de este análisis es vincular la producción de productos básicos con la deforestación, en algunos casos también tiene en cuenta la deforestación asociada a actividades especulativas o no productivas de uso de la tierra. En el caso de los productos básicos agrícolas, se utilizan las estadísticas registradas sobre las superficies cosechadas para cuantificar la expansión. Sin embargo, cuando la extensión de la deforestación vinculada a la producción agrícola supera la expansión observada en la superficie cosechada, el excedente de deforestación se distribuye proporcionalmente entre todos los productos básicos agrícolas en función de sus respectivas superficies cosechadas (véase Singh y Persson [19] para más detalles).

En el caso de los pastos, simplemente atribuimos el 95 % de la deforestación provocada por los pastos a la carne de vacuno y el 5 % al cuero (véase Singh y Persson [19] para más detalles). Este enfoque no tiene en cuenta las variaciones en las densidades de ganado o la productividad de los pastos, lo que significa que la deforestación también puede atribuirse a pastos de baja productividad o infrutilizados.

Pérdida de bosques asociada a incendios forestales:

Además, cualquier pérdida forestal causada por incendios (que puede incluir la relacionada con la tala especulativa de tierras) que no vaya seguida del establecimiento de un uso agrícola o forestal de la tierra en los tres años siguientes al evento de pérdida forestal, se excluye de nuestra atribución a la producción de materias primas. Esta categoría puede incluir, por ejemplo, [las recientes pérdidas forestales relacionadas con incendios en Bolivia](#) que aún no se han asociado con un uso específico del suelo después del incendio (es decir, detectadas a través de MapBiomass u otros conjuntos de datos espaciales). Por lo tanto, nuestros resultados deben considerarse estimaciones mínimas, con la posibilidad de que se produzca una deforestación adicional asociada a actividades agrícolas y forestales en general.

Municipios que se cruzan con el límite de la región amazónica (RAISG):

Dado que este estudio se centra específicamente en la huella de la deforestación del Amazonas, limitamos el análisis a la región amazónica tal y como la define la Red Amazónica de Información Socioambiental Georreferenciada (RAISG). Para evaluar esto, excluimos la pérdida de cobertura arbórea que se produce fuera de este límite del marco de atribución de la deforestación de DeDuCE. Esta exclusión también se aplica a las unidades administrativas subnacionales que se extienden a ambos lados de los límites de la región amazónica: la deforestación solo se atribuye a las partes que

se encuentran dentro de los límites, y las partes fuera de ellos se excluyen de la atribución. Sin embargo, para estos municipios que se encuentran en la intersección, sigue habiendo cierta incertidumbre: dado que los datos de producción agrícola no pueden desagregarse espacialmente dentro de los límites administrativos, existe el riesgo de que los productos agrícolas se atribuyan parcialmente a la deforestación del Amazonas, incluso cuando la producción se produce fuera de la región.

Atribución de la deforestación por cultivos múltiples de soja y maíz:

En el modelo DeDuCE, la atribución de la deforestación a los sistemas de cultivos múltiples de soja y maíz sigue un enfoque jerárquico. Cuando se dispone de datos espacialmente explícitos sobre el cultivo de soja, la deforestación se atribuye exclusivamente al cultivo de soja, incluso cuando el maíz se cultiva secuencialmente o dentro del mismo píxel. En el caso de Brasil, solo se tiene en cuenta la primera cosecha de maíz registrada en las estadísticas del IBGE para evitar cualquier posibilidad de doble contabilización del uso de la tierra asociado al maíz de segunda temporada.

En las regiones en las que no se dispone de datos espaciales sobre la soja, como Colombia, la atribución de la deforestación entre la soja y el maíz se realiza de forma proporcional, basándose en la expansión relativa de las áreas cosechadas para cada cultivo a nivel subnacional. Este enfoque tiene un riesgo bajo a moderado de subestimar la deforestación asociada a la soja y el maíz; sin embargo, las estimaciones totales de deforestación en la región no se ven afectadas.

Referencias

1. Cartographic Data: Visualization of geospatial information about the Amazon. *RAISG* <https://www.raisg.org/en/maps/>.
2. MapBiomass. MapBiomass General “Handbook” - Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD) - Collection 10. MapBiomass Data <https://doi.org/10.58053/MAPBIOMAS/2XSLB3> (2025).
3. Lovejoy, T. E. & Nobre, C. Amazon tipping point: Last chance for action. *Sci. Adv.* **5**, eaba2949 (2019).
4. Flores, B. M. *et al.* Critical transitions in the Amazon forest system. *Nature* **626**, 555–564 (2024).
5. Singh, C., van der Ent, R., Fetzer, I. & Wang-Erlandsson, L. Multi-fold increase in rainforest tipping risk beyond 1.5–2°C warming. *Earth Syst. Dyn.* **15**, 1543–1565 (2024).
6. Brando, P. *et al.* Tipping Points of Amazonian Forests: Beyond Myths and Toward Solutions. *Ann. Rev. Env. Res.* **50**, 97-131 (2025).
7. Lenton, T.M. *et al.* (eds). The Global Tipping Points Report 2025. University of Exeter (2025).
8. Berenguer, E. *et al.* Chapter 19: Drivers and ecological impacts of deforestation and forest degradation. in *Amazon Assessment Report 2021* (eds Nobre, C. *et al.*) (UN Sustainable Development Solutions Network (SDSN), 2021). doi:10.55161/AIZJ1133.
9. Berenguer, E. *et al.* Drivers and ecological impacts of deforestation and forest degradation in the Amazon. *Acta Amaz.* **54**, e54es22342 (2024).
10. Assis, T. O., Aguiar, A. P. D., von Randow, C. & Nobre, C. A. Projections of future forest degradation and CO₂ emissions for the Brazilian Amazon. *Sci. Adv.* **8**, eabj3309 (2022).
11. Artaxo, P. *et al.* Chapter 23: Impacts of deforestation and climate change on biodiversity, ecological processes, and environmental adaptation. in *Amazon Assessment Report 2021* (eds Nobre, C. *et al.*) (UN Sustainable Development Solutions Network (SDSN), 2021). doi:10.55161/VKMN1905.
12. Marengo, J. A. *et al.* Chapter 22: Long-term variability, extremes, and changes in temperature and hydro meteorology. in *Amazon Assessment Report 2021* (eds Nobre, C. *et al.*) (UN Sustainable Development Solutions Network (SDSN), 2021). doi:10.55161/ZGJG8060.

13. Leite-Filho, A. T., Soares-Filho, B. S., Davis, J. L., Abrahão, G. M. & Börner, J. Deforestation reduces rainfall and agricultural revenues in the Brazilian Amazon. *Nat. Commun.* **12**, 2591 (2021).
14. Silva-Junior, C. H. L. *et al.* Brazilian Amazon indigenous territories under deforestation pressure. *Sci. Rep.* **13**, 5851 (2023).
15. Armenteras, D. *et al.* Human well-being and health impacts of the degradation of terrestrial and aquatic ecosystems.
16. West, C. *et al.* The global deforestation footprint of agriculture and forestry. *Nat. Rev. Earth Environ.* 1–17 (2025) doi:10.1038/s43017-025-00660-3.
17. Heilmayr, R., Rausch, L. L., Munger, J. & Gibbs, H. K. Brazil's Amazon Soy Moratorium reduced deforestation. *Nat. Food* **1**, 801–810 (2020).
18. Rausch, L. L. & Gibbs, H. K. The Low Opportunity Costs of the Amazon Soy Moratorium. *Front. For. Glob. Change* **4**, (2021).
19. Singh, C. & Persson, U. M. Global patterns of commodity-driven deforestation and associated carbon emissions. **Preprint at EarthArXiv**, (2024).
20. MapBiomias Amazonia. <https://amazonia.mapbiomas.org/estadisticas/>.
21. MapBiomias. Coverage and transitions statistics by special territories - Legal Amazon - MapBiomias Brasil Collection 10. MapBiomias Data <https://doi.org/10.58053/MapBiomias/SGXCZU> (2025).
22. Indirect land-use change deforestation linked to soy threatens prospects for sustainable intensification in Brazil - Insights - Trase. *trase.earth* <https://trase.earth/insights/indirect-land-use-change> (2020).
23. Azevedo-Ramos, C. *et al.* Lawless land in no man's land: The undesignated public forests in the Brazilian Amazon. *Land Use Policy* **99**, 104863 (2020).
24. Miranda, J., Börner, J., Kalkuhl, M. & Soares-Filho, B. Land speculation and conservation policy leakage in Brazil. *Environ. Res. Lett.* **14**, 045006 (2019).
25. FAOSTAT. <https://www.fao.org/faostat/en/#data>.
26. UN Comtrade. <https://comtradeplus.un.org/>.
27. Lenzen, M., & Li, M. GLORIA MRIO Database. Sydney, Australia: The University of Sydney (2024).
28. Croft, S. A., West, C. D. & Green, J. M. H. Capturing the heterogeneity of sub-national production in global trade flows. *J. Clean. Prod.* **203**, 1106–1118 (2018).
29. Ribeiro, V. *et al.* *Uncovering Sub-Regional Drivers of Deforestation in the Amazon: A Tool for Targeted Solutions*. <https://wwfint.awsassets.panda.org/downloads/uncovering-sub-regional-drivers-of-deforestation-in-the-amazon.pdf> (2024).
30. Ribeiro, V., De Souza Mendes, F., Singh, C. & Heilmayr, R. Leveraging remote sensing for transparency and accountability in Amazonian commodity supply chains. *One Earth* **7**, 1935–1940 (2024).
31. ATCO. Regional report on the status of forests in the Amazon region. <https://otca.org/en/wp-content/uploads/2021/01/Regional-report-22on-the-status-of-forests-in-the-Amazon-Region22-.pdf> (2018)
32. SIMCI. Coca cultivation dynamic. <https://www.biesimci.org/index.php?id=83> (2024).
33. Hansen, M. C. *et al.* High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change. *Science* **342**, 850–853 (2013).
34. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). IBGE Produção Agrícola Municipal. <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas> (2022).
35. Flach, R. The Global Subnational Agricultural Production (GSAP) database. <https://www.sei.org/publications/global-subnational-agricultural-production-gsap-database/> (2024).

Autores: Chandrakant Singh^{1,2} , Chris West^{2,3} , Pablo Pacheco⁴ , Simon Croft^{2,3} , Jo Cook^{2,3} , U. Martin Persson^{1,2}

¹ Departamento de Espacio, Tierra y Medio Ambiente, Universidad Tecnológica de Chalmers, Gotemburgo, Suecia

² Trase - Inteligencia para el comercio sostenible - www.trase.earth

³ Instituto Medioambiental de Estocolmo, Universidad de York, York, Reino Unido

⁴ Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF); Unidad de Coordinación del Amazonas del WWF; WWF Global Science

Revisores: Stephanie Roe (WWF Internacional), Kate Findlay (WWF Reino Unido), Toby Gardner (SEI), Xin Yu (WWF China), Emily Moberg (WWF Estados Unidos), Daniel Silva (WWF Brasil), Jean-François Timmers (WWF Brasil) Mike Barrett (WWF Reino Unido), Brent Loken (WWF Internacional), Hermine Kleymann (WWF Internacional), Nicola Brennan (WWF Reino Unido), César Suárez (WWF Colombia), Oliver Liao (WWF Perú), Cristina García (WWF Ecuador), Christine Scholl (WWF Alemania), Roberto Maldonado (WWF Alemania), Kurt Holle (Unidad de Coordinación Amazónica y Perú de WWF), Seline Meijer (WWF Países Bajos), María Fernanda Contreras (WWF Suiza), Jessica Villanueva (WWF Internacional), Victoria Mena (WWF Ecuador), Jordi Surkin (WWF Bolivia), Analiz Vergara (Unidad de Coordinación Amazónica de WWF), Amy Smith (WWF Estados Unidos).

Noviembre de 2025