

The text that follows is a REPRINT
O texto que segue é um REPRINT.

Please cite as:

Favor citar como:

Maldonado, F.D., E.W.H. Keizer, P.M.L.A. Graça, P.M. Fearnside & C.S. Vitel. 2009.
Previsión temporal de la distribución espacial de la deforestación del interfluvio
Purus-Madeira, region central de Amazonas, hasta el año 2050. pp. 401-415. In: H.
Bernal Zarmudio, C.H. Sierra Hernando & M. Angulio Tarancón (eds.) *Amazonía y
Agua: Desarrollo Sostenible en el Siglo XXI*. UNESCO Etxea, UNESCO Etxea, Paris,
France. 503 pp.

ISBN 978-84-934779-8-1.

Copyright: UNESCO Etxea, Paris, France

The original publication is available from:
A publicação original está disponível de:

UNESCO Etxea, Paris, France

Available at: <http://www.unamaz.org>

Previsión temporal de la distribución espacial de la deforestación del interfluvio Purus-Madeira, región central de amazonas, hasta el año 2050

Francisco Darío Maldonado
Edwin Willem Hermanus Keizer
Paulo Mauricio Lima de Alencastro Graça
Philip Martin Fearnside
Claudia Suzanne Vite

Abstract

Understanding the future of the central region of the Amazon is crucial because it is the center of a vast water supply network constituted by the rivers Solimões, Purus, Madeira and Black to form the mighty Amazon River. In the near future a wide swath of land deforested produced by construction of a road can divide the Amazon jungle on two areas, by altering and disrupting many of the macro-organic processes. With the idea of halting the advance of deforestation, there are already some measures in order to protect the environment and indigenous lands.

Keywords: deforestation, Amazon River, indigenous lands.

1. Introducción

La comprensión del futuro de la región central de la Amazonía es crucial porque es el centro de una amplia red hidrológica donde confluyen los Ríos Solimoes, Purus, Negro y Madeira para formar el caudaloso Río Amazonas. En un futuro próximo una ancha faja de terrenos desforestados producidos por el trazado de una ruta puede dividir la selva amazónica en dos bloques, alterando e interrumpiendo muchos de los procesos macroecológicos que la mantienen saludable (Fearnside y Graça, 2006).

El futuro de esta región preocupa a los conservacionistas pues posee condiciones adecuadas para la ganadería y el cultivo de la soja. Este cultivo es apuntado cada vez más como causante de deforestación, porque la actual política de biocombustibles en el sur brasileño, reemplaza grandes superficies de soja con caña de azúcar para alcohol (Fearnside, 2006). Con la idea de frenar el avance de la deforestación, ya hay delimitadas y propuestas algunas áreas de protección ambiental y tierras indígenas (Oliveira, 2005; Fearnside, 2005).

La región en cuestión es el interfluvio entre los ríos Purus y Madeira, este posee una superficie de 15,4 millones de hectáreas, aproximadamente 800 km de largo por 150 km de ancho dispuesto de sudoeste para noreste. Este interfluvio está formado por centenas de pequeños ríos (“igarapes”) afluentes de ambas cuencas. Sus nacientes se encuentran en la

misma área del proyecto en construcción de la Ruta federal BR-319, que comunica la ciudad de Manaus, con más de 2 millones de habitantes, con “Humaitá” y “Porto Velho” situadas en regiones con las más altas tasas de deforestación del Brasil (Fearnside, 2006). Además de éste, existen otros proyectos preocupantes para la región, como la creación del gasoducto Urucu y la construcción de la hidroeléctrica del Río Madeira. Estas obras de infraestructura acompañan el avance de las madereras, soja y ganadería hacia el norte penetrando en el Estado de Amazonas.

El principal motivo para la construcción de esta ruta es la comunicación terrestre de la capital Manaus con el resto del Brasil para el transporte de la producción del polo industrial. En respuesta a la preocupación con el futuro de este área fue creada en 2006 la “Área de Limitación Administrativa Provisoria - ALAP” (Ministerio de Medio Ambiente, 2006), a lo largo del trazado de la ruta BR-319 (Manaos-Porto Velho), de un tamaño aproximado al 10% del Estado de Amazonas, prohibiendo la deforestación e instalación de nuevos emprendimientos de explotación por un periodo de 6 meses.

Desde entonces, la región de influencia de la BR-319 fue el foco de atención para propuestas de creación de nuevas áreas protegidas (Nelson, 2006); tres Parques Nacionales de 2,7 millones de hectáreas con protección integral: Parque Nacional de Coari; Parque Nacional de Umari y Parque Nacional do Jari; y nueve unidades de uso sustentable de 6,7 millones de hectáreas ; Reserva de Uso Sostenible (RDS) de Ipixuna, RDS de Capanã Grande, RDS de Canutama, RDS de Igapó-Açú, Reserva Extrativista (Resex) de Ituxi, Resex de Médio Purus, Floresta Nacional (Flona) de Tapuá, Flona de Iquiri, Floresta Estadual de Beruri, además de la ampliación de la Flona Balata-Tufari.

Con la misma preocupación, el Proyecto GEOMA, creado por el Ministerio de la Ciencia y Tecnología para estudiar la Amazonía, creó el subproyecto Madeira-Purus, orientando estudios de biodiversidad y simulaciones de la deforestación para contribuir con las propuestas de creación de áreas protegidas en esta región. En este proyecto fueron desarrollados tres modelos de deforestación, uno basado en CLUE (Aguiar, 2006) y dos en Dinámica EGO (Environment for Geoprocessing Objects) (Soares-Filho y Cerqueira, 2005; Hermann, 2007). El modelo SimAmazonia basado en Dinámica, presentó resultados de una simulación de la deforestación futura para toda la Amazonía, publicados en la Revista Nature en 2006 por Soares-Filho et al. (2006). En esta simulación aparece la deforestación produciendo marcadamente la formación de dos bloques uno mayor al este y al oeste el bloque más antropizado de la Amazonía Oriental. En este trabajo fue presentado el resultado de dos posibles escenarios para una simulación de la deforestación. Uno es el llamado escenario "*Business As Usual*" (BAU) (Figura 1a) en el cual el gobierno mantendrá las actuales restricciones a la deforestación, y otro llamado de escenario “Governance” (Figura 1b) en el que ocurre la implementación de políticas públicas de preservación, como la creación de áreas protegidas, control de la explotación maderera y del tráfico vial de cargas.

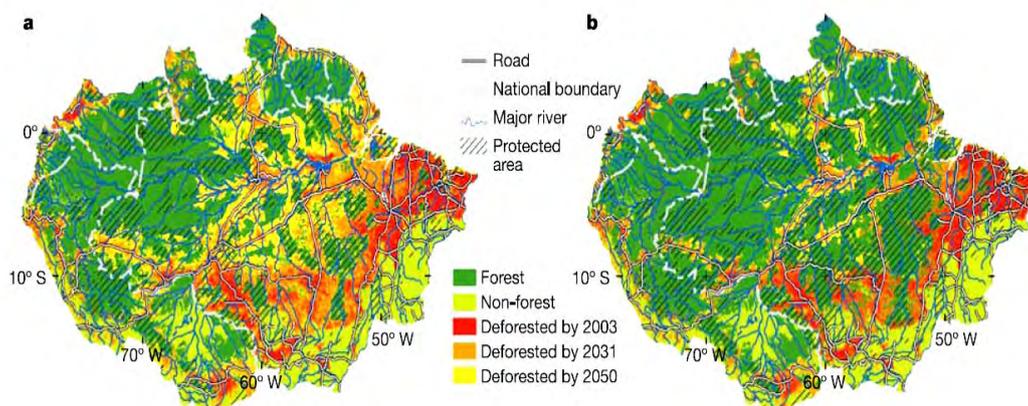


Fig. 1. Simulación de la deforestación hasta 2050, presentada por Soares-Filho et al. (2006). a) escenario BAU y b) escenario con control gubernamental y nuevas áreas protegidas.

Otro de los modelos es el “Agroeco” utilizado en el presente trabajo, cuya última versión posee ajustes basados en la incorporación cronológica de los trazados de rutas y caminos futuros proyectados por planos gubernamentales y la actividad de pequeñas explotaciones. Los resultados de la versión 2007 de este modelo (Fearnside et al., 2007) fueron sobrepuestos con mapas de biomasa para obtener las curvas de emisiones anuales de gases de efecto invernadero, pérdida de biomasa y potenciales impactos a los servicios ambientales (ciclos de carbono, biodiversidad, ciclos hídricos, etc.). Estos resultados fueron presentados por el gobierno del Estado de Amazonas en la reunión de la Conferencia sobre el Cambio Climático de las Naciones Unidas del 3 de Diciembre de 2007 en Bali, Indonesia (Schlamadinger, 2007).

La diferencia principal entre estos modelos de Dinámica EGO con otros es que la expansión de caminos no está limitada por una presunción de un proceso de deforestación puramente “dirigido por la demanda”. Esta suposición impidió que otros modelos de deforestación en Amazonas representaran el efecto de decisiones relativas a la creación de áreas de reserva. El modelado de la deforestación basada en la demanda implica la pérdida de los beneficios de creación de áreas de protección.

El objetivo de este trabajo fue obtener mapas de previsión anual del avance de la deforestación del Interfluvio Purus-Madeira hasta el año 2050, a través de la simulación con el modelo espacial AGROECO 2008 en un escenario BAU y posteriormente analizar la distribución de la deforestación en los mapas para estimar las fechas futuras en que algunos de los impactos ambientales más temidos pueden aparecer y recomendar algunas acciones para la conservación.

2. Descripción del área

Gran parte del área central de la “Amazonía brasileña” está cruzada de Suroeste a Noreste por el interfluvio de los ríos Purus y Madeira. Éste es una faja diagonal de lados

paralelos de aproximadamente 800 km de largo por 150 km de ancho, los ríos que la limitan, el Purus al noroeste y Madeira al sureste, desembocan separadamente al noreste en el Río Amazonas (Figura 2).



Fig. 2. Ubicación del área estudiada, en el centro de la Amazonia brasileña. En naranja los límites de la ALAP – Área de Limitación Administrativa Provisoria.

Este interfluvio se encuentra en áreas de alta pluviometría. En su parte media caen 2500 mm por año, 1500 mm en la parte sur y en la parte norte 2000 mm, con temperaturas medias anuales de 27° y alta humedad. Esta condición hídrica produce una densa red hidrográfica formada por numerosos riachos y lagos de aguas oscuras. La región central del interfluvio está formada por un mosaico de formaciones vegetales que abarcan desde bosques de tierra firme, bosques de inundación, algunas manchas de “cerrado”, “campinas” y vegetación herbácea sobre suelos arenosos.

En dos viajes del Proyecto GEOMA en 2007, fueron encontradas cuatro nuevas especies de aves, tres de mamíferos y algunas decenas de arácnidos desconocidos. Esta biodiversidad es alta y se extiende a lo largo de la región por las características particulares del interfluvio (Silva et al., 1992; Cohn-Haft, 2003). La fauna es diversificada con alta ocurrencia de endemismo. El número de mamíferos llega a 165 especies de las que más de 80 son murciélagos (Cohn-Haft et al. 2007). La avifauna supera las 572 especies incluyendo especies migradoras estacionales como tucanes, grandes loros y papagayos (McGinley, 2007). Esta alta diversidad también es esperada en los ríos y riachos de la região. Aunque menos estudiados, los riachos de aguas negras son criaderos de peces y mantienen alta diversidad de organismos (Figura 3a e 3b).

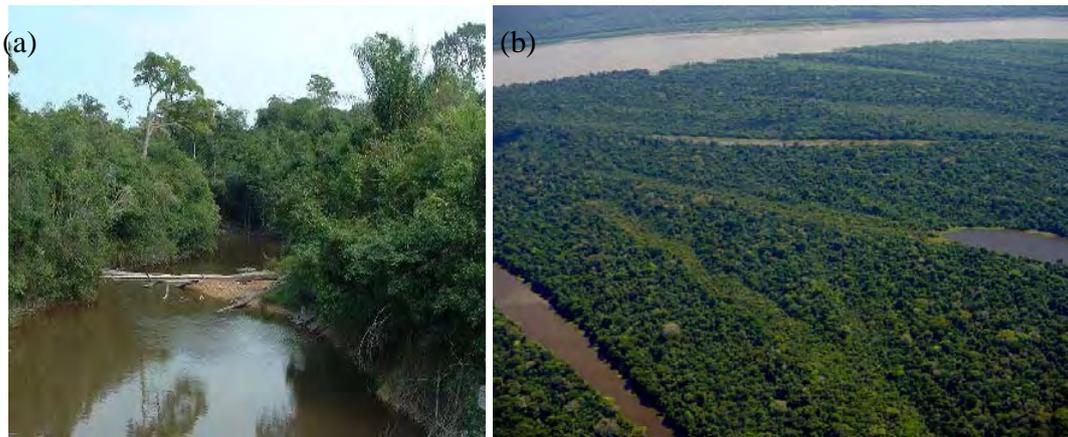


Fig. 3. En (a) uno de los numerosos riachos que atraviesan el trazado medio de la ruta BR-319 y en (b) la “varzea” en la región norte del interfluvio Purus-Madeira.

En la década del 70 fue construida la ruta BR-319 y por efecto del clima caluroso húmedo la carpeta asfáltica se deterioró rápidamente. Por falta de mantenimiento la obra alcanzó la situación actual, donde asfalto y puentes han desaparecido en gran parte del trazado. Estas obras fueron construidas con 877 kilómetros de extensión fruto de la estrategia de ocupación del gobierno militar. El Ministerio dos Transportes, del Gobierno federal, anunció su intención de reconstruir y pavimentar la Ruta BR-319, que está abandonada desde 1988. La situación de abandono y profundo deterioro del sector medio de la ruta ha permitido que la reconstrucción sea tratada como un nuevo proyecto y por lo tanto pudiesen ser exigidos los estudios de impacto ambiental pertinentes (Fearnside, 2006) (Figura 4).



Figura 4. Estado actual del tramo medio de la Ruta BR-319. (a) Destrucción total de la carpeta asfáltica, y en (b) uno de los numerosos riachos que son cruzados en condiciones precarias.

A los planes de reconstrucción de la parte media, se han agregado los planes para comunicar las ciudades de Manicoré en la margen del Rio Madeira y Tapauá en la margen del Rio Purus. Frente a éste el Gobierno del Estado de Amazonas, y el Ministerio del Medio Ambiente (MMA), del Gobierno federal, tienen planos para crear una serie de áreas protegidas dentro de la ALAP (Nelson et al., 2006). Algunas de estas áreas tienen el objetivo de minimizar los efectos del trazado de la ruta a través de numerosos riachos y nacientes, y de tres ríos interiores que son superados con balsas, algunas de ellas precarias, en los Rios Tupana, Igapo Açu y Careiro castanho.

A pesar del deterioro de la ruta y de la baja aptitud agrícola de muchas áreas con Alisoles crómicos y Plintsoles háplicos con una capa litólica que dificulta el uso agropecuario de maquinaria, ya existen algunas explotaciones en el centro del área de la ALAP. Las expectativas despertadas por el avance de las obras de infraestructura han acelerado el avance de pequeños desforestamientos en la vena del trazado. Éstos son denominados de “poseros” son pequeños colonos que toman posesión de tierras fiscales y mantienen una actividad agropecuaria mínima en el terreno. Esta actividad garantiza en cierta medida la futura apropiación de las tierras, aunque muchas veces esta actividad es difícil porque depende de la comunicación y transporte de la producción durante todo el año y en esta región los caminos son intransitables durante la estación lluviosa. A pesar de todo las expectativas de nuevas infraestructuras en el área ha aumentado el número de poseros (Figura 5) y “grileros” (grupos que se apropian ilegalmente de grandes extensiones de tierras fraguando las escrituras).



Fig. 5. Pequeños campos de soja y pastizales con ganado bovino próximos a la región central de la región Purus-Madeira.

Con las obras de infraestructura llegará una actividad más intensa con la implantación de pastizales y el cultivo de soja, actividades que se adaptan a suelos pobres y degradados. Esta última es una leguminosa que se adapta bien porque fija su propio nitrógeno y sólo necesita agregado de calcio en la preparación del suelo durante la siembra (Costa, 1982). Los daños ambientales que este cultivo produce están principalmente relacionados con la deforestación inicial, aunque posteriormente la pérdida de suelos y el consumo de defensivos agrícolas puede producir daños perdurables en la región.

3. Materiales

La información utilizada proviene de una base de datos espaciales multitemática de diferentes orígenes y características recopilada e integrada en un Sistema de Información Geográfica (SIG). De ésta fueron extraídas para variables de entrada del modelo los siguientes mapas: 1) mapa de deforestación de los años 1998 y 2004 de la región de Porto Velho del sistema de vigilancia de la deforestación del Gobierno brasileño PRODES (INPE); 2) mapa de suelos; 3) mapa de vegetación; 4) mapa de rutas y caminos; 5) mapa de la hidrografía; 6) mapas topográficos; 7) mapa de ciudades y poblados; 8) mapa de ríos navegables; 9) mapa de áreas protegidas (IBGE, 1993) (Figura 6);

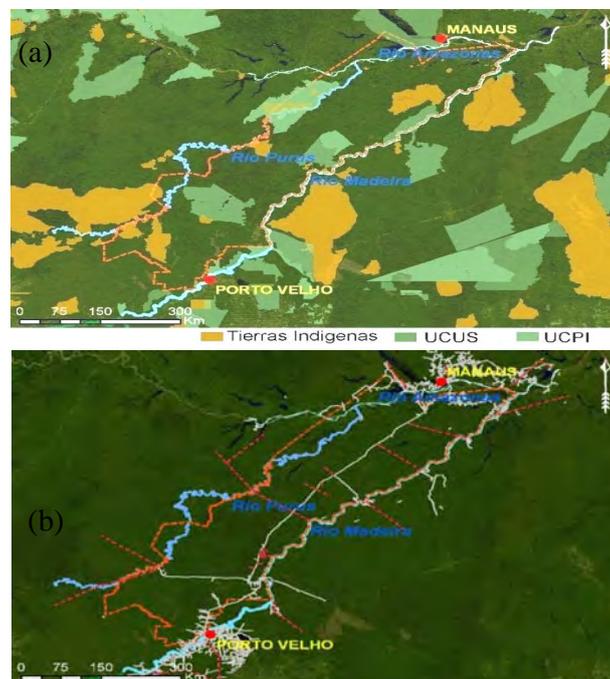


Figura 6. En (a) Mapa das Áreas de proteção, Terras indígenas, Unidades de Conservação Uso Sustentável (UCUS) y Unidades de Conservação Proteção Integral (UCPI). En (b) Rutas y caminos proyectados por los Planos Federal y Estatal.

11) Mapa de áreas de protección integral; 12) Mapa de reservas de uso sustentable actualmente delimitadas; 13) Mapas de áreas atractivas para la actividad agropecuaria; 14) Mapa de los proyectos de construcción de caminos de los Planos Federales y Estatales (Fig.6b). E información georreferenciada del levantamiento de campo de septiembre de 2006 y del vuelo sobre el área del Proyecto GEOMA en 2006.

El software de programación de la Universidad Federal de Minas Gerais – UFMG, Dinámica EGO (Environment for Geoprocessing Objects) e Vensim 3.0 (Ventana ,2003) para la construcción del modelo de simulación espacial Agroeco formado por el acoplamiento de un modelo espacial e otro no espacial. Y ArcGis 9.0 para generación de los mapas de entrada del modelado.

4. Método

La simulación utiliza el modelo AGROECO 2008 ejecutado sobre un escenario BAU. Este escenario significa que las actuales medidas de protección ambiental de la región se mantendrán durante toda la simulación.

Mecanismo de la simulación: Una primera etapa de la simulación es la llamada de “Calibración y extracción de los pesos de evidencia”. En ésta se obtiene una matriz de tasas de transición donde son obtenidas las tasas de deforestación, “clearing” (la clase floresta en regeneración es cortada para reutilizar el área) y recuperación. Estas son las tasas en que las clases del mapa de uso pasan de floresta y recuperación a no floresta. Esta matriz es obtenida comparando mapas de años pasados en una región que ya sufrió los procesos de deforestación que son esperados en la región de estudio. En este caso la matriz obtenida en la región Porto Velho-Humaitá (Rondonia) es aplicada en la región Purus-Madeira. En la misma región son obtenidos los “Pesos de evidencia”. Estos pesos son una serie de datos expresados como tablas extraídas en base a la superposición de mapas con información ambiental del área. Éstas son procesadas punto a punto utilizando estadística multivariada para obtener las evidencias sobre la importancia de cada una de estas variables ambientales, en la probabilidad de deforestación que tiene cada célula (García, 2004). Por ejemplo, cuál es la importancia del tipo de suelo, pendiente del terreno o distancia a los caminos sobre la probabilidad de deforestación de una célula en particular.

Módulo de entrada: El modelo utiliza como entrada un mapa de uso y una serie de mapas de variables ambientales del área modelada (tipo de suelo, vegetación, pendiente, ríos, caminos, entre otros). Además de estas entradas el modelo necesita iniciar con la matriz de transición que en el transcurso de la simulación será modulada por el modelo no espacial acoplado Vensim. La estructura interna del modelo puede ser observada en la Figura 7, donde se presentan esquemáticamente los módulos principales del programa.

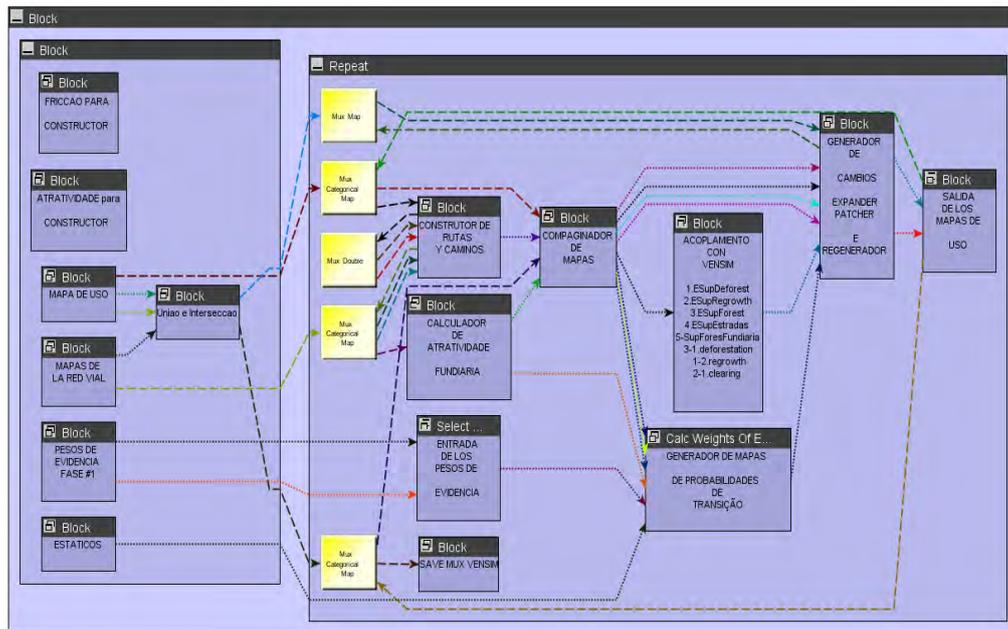


Fig. 7. Vista esquemática del modelo "AGROECO" en la pantalla principal de Dinámica EGO.

Este software es un ambiente de trabajo que permite la combinación de álgebra de mapas y otros operadores dispuestos en diferentes formas para producir el programa de modelado espacial deseado. En este modelo de simulación, los mapas de variables ambientales de entrada son definidos como variables estáticas y participan al final de cada ciclo para el cálculo del mapa de probabilidad. En este mapa cada célula posee una probabilidad de ser desforestada, cortada o recuperada, como resultado de una regresión multivariada de estos estáticos (Soares-Filho, 2003). El modelo posee una rutina de construcción de caminos que son incorporados a los mapas que serán procesados para el cálculo de la probabilidad que tiene cada célula de ser desforestada. De esta forma, el cálculo utiliza además de las variables estáticas, otras como distancia a caminos, distancia a la desforestación y distancia a centros poblados.

En esta operación uno de los mapas que es recalculado en cada ciclo de la simulación es el de caminos. Para esto existe un *Modulo constructor de rutas y caminos* que genera nuevos trazados. Estos son construidos en base a la "atracción" y los "costos" de construcción, cuyos cálculos se basan en la distribución espacial de áreas atractivas, áreas protegidas y otros obstáculos. Para su funcionamiento el "constructor de rutas y caminos" considera muy atractivas las áreas aptas para la agricultura y poco atractivas las protegidas, y para definir su camino utiliza el concepto de costos para la construcción, en base a pendiente de terreno y tipo de protección del área. La actividad del constructor tiene tres fases, una muy activa de penetración (construcción de largas caminos en la floresta); una fase de consolidación de caminos, donde son construidos pequeños caminos en áreas atractivas; y una fase de construcción de caminos y rutas proyectadas (por ejemplo la ruta a

Manicore proyectada para 2014, a Tapaua para 2017, los tramos de la Ruta BR-319 para 2009, entre otros proyectos estatales y federales).

En la medida en que se construyen nuevos caminos, una rutina incorpora nuevas áreas forestales que pueden ser desforestadas a 14 km de los caminos. Conjuntamente, otra rutina genera superficies de áreas fundarías próximas, hasta 2 km de las rutas y caminos, ocupadas principalmente por pequeños productores que desforestan áreas pequeñas. La actividad de estos ocupantes no depende de los vaivenes económicos o políticos considerados en el modelo. Las áreas protegidas son poco atractivas para la construcción porque tienen altos costos, como si tuviesen grandes pendientes. De esta forma las células dentro de áreas protegidas disminuyen todavía más la probabilidad de desforestación. Tierras indígenas, áreas de protección integral y áreas de uso sustentable son resistentes a la desforestación principalmente por la dificultad de construir caminos en ellas.

Acoplamiento del modelo espacial con Vensim: Una parte importante es el intercambio de variables con el modelo no espacial Vensim. En este son moduladas las tasas de transición para representar los cambios en la evolución de las áreas. Durante la evolución de cada área existen actores como madereros, ganaderos y agricultores que ocupan y explotan la floresta con diferente intensidad, aquí llamada de presión de desforestación. La presión de cada actor va a depender de la fase en que se encuentra la región y de factores económicos y políticos que oscilan con el tiempo. El modelo espacial simula dos fases para cada región, en la primera predomina la actividad maderera y pecuaria, y en ella algunas variables ambientales, como la pendiente del terreno, no son importantes. En una segunda fase, cuando aumenta la importancia de la ocupación agrícola, la pendiente es fundamental.

El modelado de la desforestación acopla el software Dinámica EGO con Vensim, permite simular las variaciones temporales en las tasas de desforestación, que son aplicadas en cada ciclo por el modelo espacial. Las variaciones temporales en las tasas se calculan como las variaciones en la presión de madereros, ganaderos y agricultores. Estas funciones son coeficientes que afectan la capacidad máxima de devastación que cada actor tiene, definidas por kilometro de camino. La longitud de caminos sin desforestación es una variable que pasa de Dinámica EGO a Vensim. Con ese valor, el modelo no lineal, calcula la capacidad de devastación con que cada actor actúa en el ciclo. Con estas tasas de transición las rutinas Expansora y Parcheadora de la desforestación generan el mapa correspondiente a cada año. Estas rutinas aumentan la superficie desforestada y producen nuevos puntos de desforestación. También producen la recuperación de células de floresta y desforestación de floresta secundaria ("clearing"). El ajuste de la matriz de transición inicial fue probado, comparando el resultado de los primeros ciclos, en dos áreas menores de la simulación, con una detección de cambios hecha con la técnica RCAN (Maldonado et al., 2007^a) en San Antonio de Matupi y en Apuí (Graça et al., 2007; Maldonado et al. 2007^b)

Finalmente los mapas resultantes del modelado fueron analizados visualmente para estimar la evolución temporal de impactos ambientales y la distribución de la

desforestación y recomendar acciones futuras como la localización prioritaria para creación de áreas de protección ambiental.

5. Resultados y discusión

El modelo generó 43 mapas de uso, uno para cada año de la simulación. La evolución de las áreas mostró coherencia. En un análisis preliminar del equipo de Agroecología, los resultados fueron similares a los presentados anteriormente al Gobierno del Estado de Amazonas.

El modelo muestra que hasta el año 2050 serán desforestadas 5,4 millones de hectáreas, las que formaran una franja sin floresta de 60 km en promedio, lo que indefectiblemente forma una barrera para la migración de muchos animales y plantas (Cohn-Haft et al, 2007). Ya desde el año 2020 de la simulación la franja desforestada por la actividad antrópica produce un corredor sin floresta de 15 km de ancho en promedio (Figura 8a). El área desforestada anualmente aumentó progresivamente hasta 2050. En el año 2010 de la simulación habían sido desforestadas 1,7 millones de hectáreas; en 2020 3,0; en 2030 3,9; en 2040 4,7 y en 2050 (final de la simulación) 5,4 millones de hectáreas. En 2050 los caminos a Tapauá y Borba son responsables de gran parte de la desforestación en la región media. La desforestación en el camino a Manicoré es contenida por las áreas protegidas a ambos lados del camino. Una de las áreas protegidas es de uso sostenible, este tipo de áreas han demostrado buena protección contra los “grileros” de tierras.

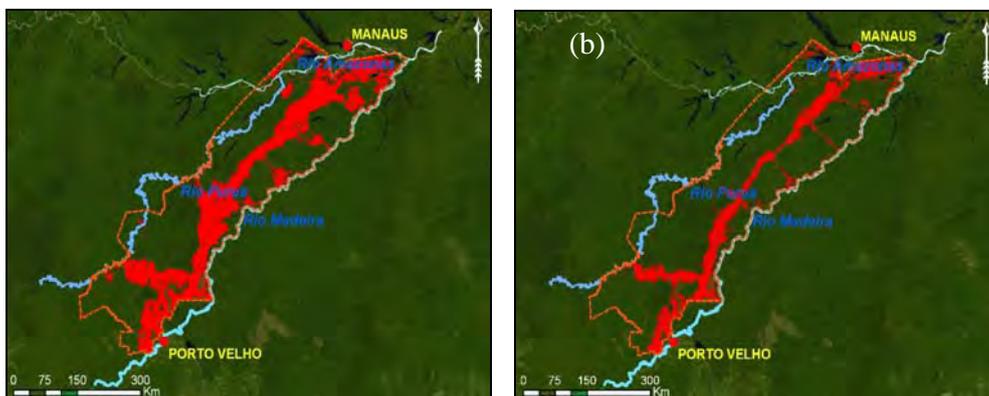


Fig. 8. Resultados de la simulación correspondientes a los años 2020 en (a) y al año 2050 en (b). En naranja los límites de la ALAP y en rojo la superficie desforestada.

Además de la diversidad de animales y plantas, el interfluvio es rico en endemismos y su división longitudinal en dos partes, puede significar una larga lista de extinciones entre la flora y la fauna. En la simulación el tramo sur de la Ruta BR-319 aparece ocupado por una amplia área agropecuaria de soja y ganado bovino, como en la región aledaña de Porto

Velho. En el tramo norte más próximo a Manaus, el futuro más probable es un uso diversificado característico de las áreas próximas a las grandes ciudades, como: producción de pequeños animales, hortalizas, fruta, lácteos y en este caso criaderos de peces para consumo.

6. Conclusiones y recomendaciones

La construcción de la ruta BR-319 parece inevitable, ya están en construcción el primero y último tramo (Figura 9) por lo que la determinación de áreas protegidas es crucial para la integridad del bloque amazónico. El gobierno tiene una serie de Áreas de preservación propuestas que pueden desacelerar la deforestación. En base a la observación de los resultados puede también recomendarse la creación de pequeñas áreas de protección integral con forma alargada y paralela a la ruta; que como muestra el modelado pueden ser efectivas como barrera para proteger grandes áreas situadas detrás de estas.



Fig. 9. Maquinaria vial trabajando en el primer tramo de la Ruta BR-319. En a) tramo entre Careiro Castanho e Igapó Açu, casi completamente asfaltado, en b) tramo Igapó Açu – Rio Tupana en consolidación.

Se espera que a partir del año 2020 el impacto ambiental producido por esta obra sea considerable porque la desforestación ocupará gran cantidad de los nacimientos de los riachuelos del interfluvio Purus-Madeira. Con la retirada del bosque, la agricultura mecanizada y la ganadería, aumentará la pérdida de suelos; y la colmatación de los ríos alterará gravemente el ambiente acuático. Para evitar el excesivo ancho de la faja desforestada en un futuro podría definirse áreas de protección ambiental en el lado noroeste del camino en base a una delimitación “fundia” de 2 km a cada lado de la ruta, así se produciría una faja desforestada de, máximo, 4 km en el área central. También áreas de protección en el norte de la ruta BR-319 puede controlar la forma de la ocupación de lagos y áreas de inundación, como las áreas protegidas propuestas en Igapó Açu. En razón de la presión de ocupación de la ciudad de Manaus, estas áreas deben ser delimitadas cuanto antes para evitar la ocupación por “grileros” y poseros, con las consecuentes dificultades administrativas para la creación de áreas de protección integral.

En una simulación anterior presentada al Gobierno del Estado de Amazonas fue demostrado que en un “escenario de conservación” con la creación de nuevas reservas además de las existentes, la desforestación fue reducida en 1,6 millones de hectáreas o 310 Millones de toneladas de carbono, CO₂ equivalente, en emisiones de gases de efecto invernadero (Fearnside et al., 2007).

El modelo AGROECO, como cualquier otro, depende de una serie de presunciones sobre el comportamiento de los actores que producen la desforestación. Este modelo está muy influenciado por las áreas de pequeños agricultores, futuras mejoras en el modelo pueden representar mejor los roles de los grandes actores (legales e ilegales), estas modificaciones pueden resultar en una desforestación más rápida de las áreas desprotegidas.

Agradecimientos:

Los autores agradecen a la Fundación de Amparo a la Pesquisa do Estado de Amazonas – FAPEAM y CNPq por las bolsas DCR y DTI y Projetos DCR y CNPq/PPG-7, al INPA (INPA: PPI 851 1-1005) soporte financiero. Proyecto Geoma vuelo sobre el área, INPE suministro de imágenes CBERS-2. Agro Paris Tech ENGREF Ministère des Affaires Etrangères, beca de cooperación EGIDE Lavoisier. Y al Centro de Sensoriamento Remoto (CSR) Instituto de Geociencias, UFMG.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar A.P., 2006. *Modeling Land Use Change in the Brazilian Amazon: Exploring InterRegional heterogeneity*. PHD Thesis, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Sao José dos Campos. Brasil.
- Cohn-Haft, M. 2003. ‘Potencial ornitológico do baixo rio Purus’, in Claudia Pereira de Deus, Ronis da Silveira, Lucia H. Rapp Py-Daniel. (Org.). *Piagacu-Purus: Bases*

- científicas para a criação de uma reserva de desenvolvimento sustentável*. Manaus: Instituto de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá.
- Cohn-Haft, M., Pacheco, A.M.F., Bechtoldt, C., Torres, M.F.N., Fernandes, A.M., Sardelli, C.H., Macedo, I.T. 2007. 'Inventário ornitológico', in Rapp Py-Daniel, L., Deus, C. P., Henriques, A. L., Pimpão, D. M., Ribeiro, O. M. (Org.). *Biodiversidade do médio Madeira: Bases científicas para propostas de conservação*. Manaus: INPA.
- Costa J. A., Marcchezan E., 1982. *Características dos estádios de desenvolvimento de la soja*. Campinas: Fundação Cargill.
- Duke, A., and G. A. BLACK. 1953. 'Phytogeographical notes on the Brazilian Amazon', *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 25: 1- 46.
- Fearnside P. M., 2005. 'Carga Pesada: O custo ambiental de asfaltar um corredor de soja na Amazônia' (Org.) M. Torres. *Amazônia revelada: los descaminhos ao longo da BR-163*. Brasília: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).
- , Graça P.M.L.A., 2006^a. 'BR-319: Brazil's Manaus-Porto Velho Highway and the potential impact of linking the arc of deforestation to central Amazonia', *Environmental Management*, 38, p. 705-716.
- , 2006^b. 'O cultivo da soja como ameaça para o meio ambiente na Amazônia brasileira', (Org.) L. Forline, R. Murrieta. *Amazônia 500 Anos. O V Centenário e o Novo Milênio: Lições de História e Reflexões para uma Nova Era*. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi.
- , Graça, P.M.L.A., Keizer, E.W.H., Maldonado, F.D., Barbosa, R.I., Nogueira, E.M. 2007. Desmatamento e Emissões de Carbono projetadas para o sul do Amazonas, Brasil: Resultados de Modelagem do Desmatamento e Emissões no Município de Apuí e na Área da Rodovia Manaus-Porto Velho (BR-319) no Período 2007-2050. Relatório para Iniciativa Amazonas (IA), Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SDS), Governo do Estado de Amazonas, Brasil.
- Garcia, R.A., Soares-Filho B.S., Moro S., 2004. 'Modelagem Espacial do Desmatamento Amazônico', *XIV Encontro Nacional de Estudos Populacionais*, ABEP. Ciudad de Caxambu, Brasil. 20-24 de Septiembre.
- Graça, P.M.L.A., Maldonado, F. D., Fearnside, P.M. 2007. 'Detecção de desmatamento em novas áreas de expansão agropecuária no sul do Amazonas utilizando imagens CBERS-2', in *XIII Simposio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 2007, Florianópolis. Anais. São José dos Campos : INPE, p. 917-924.
- Hermann O.R., Soares-Filho B.S., Souza Costa W.L., 2007. 'Dinâmica EGO, uma plataforma para modelagem de sistemas ambientais', *Simposio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)*. Ciudad de Florianópolis. Brasil. 21-26 de Abril. 3089-3096.
- IBGE -FUNDAÇÃO Instituto Brasileiro de Geografia Estatística. 1993. Mapa de vegetação do Brasil. Map 1:5,000,000. Rio de Janeiro, Brazil.

- Maldonado, F. D. , Santos, J.R., Graça, P.M.L.A. 2007a. 'Change detection technique based on the radiometric rotation controlled by no-change axis, applied on a semi-arid landscape', *International Journal of Remote Sensing*, v. 28, p.1789-1804.
- , Graça, P.M.L.A., Fearnside, P.M. 2007b, 'Detecção de mudanças na cobertura vegetal da floresta amazônica utilizando a técnica RCEN multiespectral com imagens CBERS-2, região de Apuí-AM', in *XIII Simposio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 2007, Florianópolis. Anais 2007. São José dos Campos : INPE, v. 1. p. 6819-6826.
- Mcginley, M. 2007. 'Purus-Madeira moist forests', in *Encyclopedia of Earth*. Eds. Cutler J. Cleveland (Washington, D.C.: Environmental Information Coalition, National Council for Science and the Environment). [Published in the Encyclopedia of Earth March 21, 2007, Visitado en Febrero, 2008]. [http://www.eoearth.org/article/Purus-Madeira moist forests](http://www.eoearth.org/article/Purus-Madeira%20moist%20forests).
- Ministerio do Meio Ambiente, 2006. Consultas públicas para criação de unidades de conservação na região de entorno da BR-319 (Manaus- Porto Velho), Área sob Limitação Administrativa Provisória (ALAP). Brasília. Brasil. 12 p.
- Nelson B., Albernaz A.L.M., Soares-Filho, B.S. 2006. *Estratégias de Conservação para o Programa ARPA*, Relatório de Atividades, Secretaria de Biodiversidade e Florestas, Diretoria de Áreas Protegidas, Ministério do Meio Ambiente. Cuiabá. Brasil.
- Oliveira A.U., 2005. BR-163 *Cuiabá-Santarém. Geopolítica, grilagem, violência e mundialização. Amazônia revelada: los descaminhos ao longo da BR-163*. Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). Brasília. Brasil.
- Silva, A. L. L., P. L. B. Lisboa, and U. N. Maciel. 1992. 'Diversidade florística e estrutura em floresta densa da bacia do Rio Juruá-AM', *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi*, Botânica 8: 203-258.
- Soares-Filho B.S., 2003. 'Modelagem da dinâmica de paisagem: Concepção e Potencial da Aplicação de Modelos de Simulação baseados', em *Autômato Celular. Ferramentas para modelagem da distribuição de espécies em ambientes tropicais*. Editores: Albernaz A., Silva J.M.C., Valeriano D. Museu Paraense Emílio Goeldi. Belém. Pará. Brasil.
- ., Cerqueira G. C., 2005. 'Projecto DINAMICA'. [http:// www.csr.ufmg.br/dinamica](http://www.csr.ufmg.br/dinamica).
- ., Nepstad D.C., Curran L.M., Cerqueira G.C., Garcia R.A., Ramos C.A., McDonald E. V. A., Lefebvre E. P., Schelesinger P., 2006. 'Modelling conservation in the Amazon basin', *Nature* 440, 1010-1038.
- Ventana, 2003. 'Vensim software – linking systems thinking to powerful dynamic models'. <http://www.vensim.com/software.html>.

