



Conservation Strategy Fund | Conservación Estratégica | SERIE TÉCNICA No. 7 | mayo de 2007

Efectos de los proyectos de energía y transporte en la expansión del cultivo de soja en la cuenca del río Madeira

maria del carmen vera-diaz
john reid
britaldo soares filho
robert kaufmann
leonardo fleck

“La misión de CSF es enseñar a organizaciones de todo el mundo cómo utilizar análisis económico estratégico para conservar la naturaleza”.

Fotografía de la tapa:
Marcos Amend

Av. Sánchez Lima No. 2600
Edificio Tango - Piso 11 Depto. 02
Teléfono/fax: 591-2-2431038
Casilla: 4945 / La Paz - Bolivia
cecilia@conservation-strategy.org

Praça Dr. Lund, 218 - sala 407 - Centro
33400-000 - Lagoa Santa - MG - Brasil
Teléfono/fax: 55-31-36811221
csfbrasil@conservation-strategy.org

Apto. 663-2300
Curridabat - Costa Rica
irene@conservation-strategy.org

1160 G Street, Suite A-1
Arcata, CA 95521 - Estados Unidos
Teléfono: 707-822-5505
Fax: 707-822-5535
info@conservation-strategy.org

www.conservation-strategy.org

Impreso en Brasil
Printed in Brazil

Efectos de los proyectos de energía y transporte en la expansión del cultivo de soja en la cuenca del río Madeira

maria del carmen vera-diaz [Boston University]

john reid [Conservation Strategy Fund]

britaldo soares filho [Universidade Federal de Minas Gerais]

robert kaufmann [Boston University]

leonardo fleck [Conservation Strategy Fund]

{ Agradecimientos

A

gradecemos el apoyo financiero brindado por la Fundación Gordon y Betty Moore y la Agencia para el Desarrollo Internacional de los Estados Unidos. También somos gratos a Marcos Amend y Glenn Switkes por sus valiosos comentarios y a Cecilia Ayala, Pablo Pacheco, Luis Fernando Figueroa y Jorge Molina, por su apoyo en la recolección de datos en Bolivia. Agradecemos también a Susan Reid por la revisión del texto en inglés y a Elisabeth Lehnhoff por la traducción al español. Las conclusiones de este estudio pertenecen exclusivamente a los autores.

{ Índice

AGRADECIMIENTOS	4
ÍNDICE	6
SIGLAS	8
LISTA DE TABLAS/GRÁFICOS	10
RESUMEN EJECUTIVO	12
EXECUTIVE SUMMARY	14
INTRODUCCIÓN	16
ÁREA DE ESTUDIO	20
MÉTODOS	24
Modelo de productividad de soja	25
Motivación	25
Costos de transporte	27
Escenarios de rentabilidad de la soja	30
Fuente y manipulación de datos	30
RESULTADOS	32
Escenarios de costo de transporte de la soja	33
Escenarios de rentabilidad de la soja	34
CONCLUSIONES	38
BIBLIOGRAFÍA	42
GRÁFICOS	50
ANEXOS	58

{ Siglas

ANAPO	Associação Nacional de Produtores de Oleaginosas
CNO	Constructora Norberto Odebrecht
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
FURNAS	Furnas Centrais Elétricas S.A.
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IIRSA	Iniciativa para la Integración de Infraestructura Regional de Sudamérica
INEI	Instituto Nacional de Estadística e Informática (Peru)
IPAM	Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia
ISA	Instituto Socioambiental
IRN	International Rivers Network
LEME	LEME Engenharia
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NCAR	National Center for Atmospheric Research
NCEP	National Center for Environmental Modeling
PCE	Projetos e Consultorias de Engenharia
PNUD	Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
SIFRECA	Sistema de Informações de Fretes
SOTERLAC	Base de Datos de Suelo y Terreno para América Latina y el Caribe
WHRC	Woods Hole Research Center
WWF	Fondo Mundial para la Naturaleza

{ Lista de tablas/gráficos

Tabla 1.	Ríos navegables tras la construcción de represas	17
Tabla 2.	Costo (fricción) de atravesar diferentes superficies terrestres	28
Tabla 3.	Diferentes escenarios de infraestructura	29
Tabla 4.	Área con costos de transporte \leq US\$100/ton/km	33
Tabla 5.	Área de cultivos de soja con alta rentabilidad (\geq US\$300/ha)	35
Gráfico 1.	Proyectos de infraestructura	51
Gráfico 2.	Representación del modelo de productividad de soja	52
Gráfico 3.	Mapas utilizados en la elaboración del mapa de costos de transporte	53
Gráfico 4.	Mapa de rentabilidad atractiva al cultivo de soja bajo condiciones actuales	54
Gráfico 5.	Incremento de área atractiva para el cultivo de la soja bajo el Escenario XI	55
Gráfico 6.	Incremento de área atractiva para el cultivo de la soja bajo el Escenario II	56

{ Resumen ejecutivo



Hay una serie de proyectos de energía y transporte que visan promover la integración física de los territorios amazónicos del Perú, Brasil y Bolivia. El Megaproyecto de Energía y Navegación del Río Madeira incluye la construcción de dos estaciones de generación de energía hidroeléctrica, Jirau y Santo Antônio en Brasil; una tercera estación entre Abunã en Brasil y Guayaramerín en Bolivia; y probablemente una cuarta estación en la cachuela Esperanza en el río Beni en Bolivia. Otros proyectos de infraestructura de transporte propuestos para esta región incluyen la pavimentación del “Corredor Norte” en Bolivia, el Corredor Cuiabá-Santarém y la “Carretera Interoceánica”.

Una de las principales consecuencias esperadas de estos proyectos de energía y transporte es la conversión de varios tipos de ecosistemas amazónicos, tales como bosques, praderas y sabanas para cultivos de soja. Este estudio predice cambios potenciales en el uso de la tierra como una consecuencia de la expansión cultivo de soja en las regiones que serían afectadas por los proyectos de infraestructura en Brasil, Bolivia y Perú. Se utiliza un modelo interdisciplinario para estimar la productividad de la soja con base en factores climáticos, económicos y edáficos. Luego se utilizan las predicciones de productividad para calcular la rentabilidad de la soja tomando como base las variaciones en los costos de transporte. El efecto de los nuevos proyectos de infraestructura en la expansión de la soja es evaluado mediante la estimativa de variaciones en los costos de transporte de la soja hasta el puerto de exportación más cercano y para ello se ensayan 11 diferentes escenarios de infraestructura.

Los resultados de este estudio indican que los futuros proyectos de navegación y mejoramiento de carreteras en la región fronteriza entre Bolivia, Brasil y Perú, en la cuenca suroccidental del Amazonas, tienen un potencial considerable para estimular la expansión de la soja debido a la reducción de costos de transporte. El área de cultivo considerada altamente rentable aumentaría entre 6,594 km² (1%) y 142,749 km² (17%), dependiendo de los proyectos incluidos en la simulación. En todos los escenarios evaluados, la región noroeste de Bolivia sería la más impactada en términos económicos y ecológicos. No obstante, el Estado de Mato Grosso en Brasil seguiría teniendo el área más extensa clasificada como altamente rentable para el cultivo de soja.

Estos resultados ponen en evidencia el potencial de pérdidas de hábitat natural en la cuenca suroccidental del Amazonas como consecuencia de la construcción de infraestructura de energía y transporte. Para minimizar estos impactos se propone realizar inversiones en conservación paralelas a todo nuevo proyecto de infraestructura planeado para la región, a fin de reducir al mínimo la pérdida de recursos naturales. Vale la pena mencionar que en este estudio no se evalúa la viabilidad o mérito de cualquier proyecto en particular.



Executive summary



number of energy and transportation projects have been proposed to promote the physical integration of Peru, Brazil and Bolivia's Amazon territories. The Madeira River Hydroelectric and Navigation Mega-project includes the construction of two hydroelectric power stations (HPS), Jirau and Santo Antônio, in Brazil, a third HPS between Abunã in Brazil and Guayaramerín in Bolivia, and probably a fourth at the Esperanza Falls on the Beni River in Bolivia. Other transportation infrastructure projects proposed in this region include the paving of the Bolivian "Northern Corridor," the Cuiabá-Santarém Corridor, and the "Interoceanic Highway."

One of the main consequences expected from these energy and transportation projects is the expansion of soybean planting, which would involve conversion of several types of Amazonian ecosystems, including forests, grasslands and savannahs. This study predicts potential land use changes as a function of soybean expansion in the regions of Brazil, Bolivia, and Peru affected by the infrastructure projects. We use an interdisciplinary model to estimate soybean yields based on climate, soils, and economic factors. We then use yield predictions to estimate soybean profitability based on variations in transportation costs. The effect of new infrastructure projects is evaluated by estimating changes in the cost of shipping soybeans to the nearest export port under 11 alternative infrastructure scenarios.

Our results indicate that future navigation mega-projects and road improvements in the Bolivia-Brazil-Peru border region in the Southwest Amazon Basin have significant potential to spur soybean expansion by reducing transport costs. The area considered highly profitable for planting would increase by between 6,594 (1 percent) and 142,749 km² (17 percent), depending on the projects included in the simulation. In all the scenarios we studied, northwestern Bolivia would be the most heavily impacted in economic and ecological terms. Nevertheless, the state of Mato Grosso in Brazil would continue to have the greatest total area classified as highly profitable from soybean cultivation.

These results underscore the potential for natural habitat losses in the southwest Amazon Basin as more infrastructure is constructed. While we draw no conclusions about the feasibility or merits of particular projects, we do conclude that conservation investments are needed in parallel to any new infrastructure projects in this region to minimize the loss of natural values.



{ Introducción

H

ay una serie de proyectos de energía y transporte que visan promover la integración física de los territorios amazónicos del Perú, Brasil y Bolivia. Entre éstos se encuentra el Megaproyecto de Energía y Navegación del Río Madeira, que incluye la construcción de dos estaciones de generación de energía hidroeléctrica – Jirau y Santo Antônio – en el tramo del río entre Porto Velho y Abunã (Brasil); una tercera estación entre Abunã (Brasil) y Guayaramerín (Bolivia); y probablemente una cuarta estación en la cachuela Esperanza localizada en el río Beni, en territorio boliviano (Gráfico 1: página 51). Los proyectos también incluyen la construcción de esclusas y líneas de transmisión de electricidad. Según proyecciones oficiales, estas inversiones generarían energía a precios competitivos y permitirían la navegación a lo largo del Alto Madeira, en donde actualmente la navegación es impedida por saltos y rápidos (Furnas/Odebrecht/Leme, 2005). Más de 4,000 km de cursos de agua río arriba a partir de las represas a ser construidas en Brasil, Bolivia y Perú se volverían navegables (Tabla 1). La navegación en el río Madeira es un elemento importante en el eje Orinoco-Amazonas-Plata, uno de los doce propuestos por la Iniciativa para la Integración de la Infraestructura Regional de Sudamérica (IIRSA).

Una de las principales consecuencias esperadas de este megaproyecto es la expansión de cultivos de soja en los estados bolivianos de Pando, Beni y parte de Santa Cruz debido a la reducción de costos de transporte. Según el consorcio Furnas & Odebrecht, estas regiones tienen ocho millones de hectáreas de tierras aptas para la práctica de agricultura intensiva. La producción potencial de granos en esas tierras es estimada en 24 millones de toneladas anuales (PCE/Furnas/Odebrecht, 2002). No obstante, estos pronósticos no han sido aún confirmados. Adicionalmente, algunos estudios de zonificación indican que podría haber limitaciones para la producción de granos a gran

TABLA 1 - RÍOS NAVEGABLES TRAS LA CONSTRUCCIÓN DE REPRESAS

Represas	Países influenciados	Río	Tramo hecho navegable	Extensión (km)
Santo Antônio y Jirau	Brasil	Madeira	Abunã - Porto Velho	270
Abunã - Guayaramerín	Brasil Bolivia	Mamoré/ Guaporé	Vila Bela SS Trindade - Abunã	1.565
		Mamoré	Puerto Grether - Costa Marques	780
Cachuela Esperanza	Brasil Bolivia Perú	Beni	Rurrenabaque - Mamoré	710
		Orthon	Puerto Rico - Beni	200
		Madre de Dios	Puerto Maldonado - Beni	630
Total				4.155

escala en Pando y Beni debido a restricciones en el suelo (Zonisig, 1997). En Brasil, los Estados de Rondônia y Mato Grosso serían los más beneficiados con la vía fluvial del Madeira, la cual podría afectar un área de aproximadamente 350,000 km² (PCE/Furnas/Odebrecht, 2002). Actualmente, esta región produce 3 millones de toneladas de soja, lo que equivale al 6% de la producción total de Brasil (IBGE, 2006). Según las estimativas del proyecto, la vía fluvial del Madeira reduciría el costo del transporte de la soja desde Rondônia y Mato Grosso hasta los puertos del Pacífico, e incrementaría la producción de soja para 28 millones de toneladas al año (PCE/Furnas/Odebrecht, 2002). A nivel local, los efectos económicos del cultivo de soja se expresarían en un mayor número de empleos y en el aumento de la productividad (PIB per cápita) y del bienestar social.

Algunos proyectos de pavimentación de carreteras también podrían promover la expansión de la producción de soja en el área fronteriza entre Bolivia, Brasil y Perú. Estos proyectos son: 1) El Corredor Norte en Bolivia, que conecta las ciudades de La Paz, Guayaramerín y Cobija; 2) El Corredor Cuiabá-Santarém, entre Guarantã do Norte y Santarém en Brasil, y; 3) La Carretera Interoceánica, entre Rio Branco (Brasil) e Ilo (Perú) (Gráfico 1: Página 51).

Estos proyectos generan una serie de preocupaciones ambientales y sociales. La intensificación del cultivo de soja causaría impactos ambientales significativos, tales como deforestación, pérdida de biodiversidad, compactación de suelos, erosión y contaminación de ríos debido al uso de pesticidas y fertilizantes. La deforestación ha sido claramente asociada con el desarrollo de infraestructura, en particular, a carreteras construidas en la cuenca del Amazonas (Fearnside 1986, 1987; Kaimowitz y Angelsen, 1998; Nepstad et al., 2001; Alves, 2002; Alencar et al., 2004), y podría representar pérdidas económicas considerables para la sociedad en general (Alencar et al., 2005).

Las represas en el río Madeira también provocarían efectos adversos en la vida acuática al interrumpir las rutas de migración de peces. Además, se prevé que éstas podrían impedir el transporte de sedimentos, elevar los niveles de las aguas subterráneas, causar inundaciones y alterar la calidad y la dinámica de los recursos hidrológicos (Furnas/Odebrecht/Leme, 2005). Por otro lado, se esperan costos sociales asociados a la competición por los recursos terrestres y naturales entre las comunidades locales y los inmigrantes y latifundarios¹ (Cáceres Vega, 2000). El resultado puede ser una mayor desigualdad en la distribución de la riqueza (Fearnside, 1997, 2001). En la última década, el auge del cultivo de soja en Mato Grosso estuvo acompañado por un

¹ Hace tres décadas, la llegada de la soja y el programa de erradicación del café en el sur de Brasil desplazó de las áreas rurales a 2.5 millones de pequeños agricultores. Muchos se trasladaron a las áreas boscosas en el centro-occidente y las zonas amazónicas de Brasil (Fearnside, 1986, 1987). Más recientemente, la construcción de un nuevo puerto en Santarém, en la confluencia de los ríos Amazonas y Tapajós, provocó que compradores capitalizados de tierras de Mato Grosso, Paraná y Rio Grande do Sul fueran atraídos hacia los municipios de Santarém y Belterra (Estado de Pará), lo que condujo al desplazamiento de comunidades locales y a la conversión de bosques en campos de cultivo de soja (Steward, 2004).

incremento en el Índice Gini (una medida que indica la desigualdad de la distribución de la riqueza) de 0.55 en 1990 a 0.59 en 2000 (PNUD, 2000).

Este estudio predice la expansión potencial del cultivo de soja en la región fronteriza trinacional compartida por Brasil, Bolivia y Perú, como consecuencia de los futuros proyectos de infraestructura de transporte y generación de energía eléctrica mencionados anteriormente. Las simulaciones están organizadas en 12 escenarios: el primero representa las condiciones actuales y los 11 restantes son diferentes combinaciones de pavimentación de carreteras y construcción de represas. Se realiza un cálculo aproximado de la extensión de tierra que se tornaría atractiva para el cultivo de soja como resultado de las inversiones en infraestructura, y del potencial de la expansión del cultivo de soja que afectaría áreas protegidas, territorios indígenas y ecosistemas naturales en general. Estas estimativas son basadas en la rentabilidad de la producción de soja, la cual es determinada principalmente por el precio, la productividad y los costos de producción y transporte. Se utiliza el modelo interdisciplinario propuesto por Vera-Díaz et al. (2006) para estimar la productividad de la soja, el cual se basa en determinantes climáticos, económicos y edáficos. Después se utilizan las predicciones de productividad de la soja para calcular mapas de rentabilidad usando sistemas de información geográfica. El efecto de nuevos proyectos de infraestructura de transporte y de energía eléctrica es considerado mediante la estimativa de costos de transporte de soja hasta el puerto de exportación más cercano bajo cada escenario propuesto y haciendo uso de técnicas de análisis espacial. Estos enfoques permiten evaluar variaciones espaciales en la viabilidad económica de la producción de soja y determinar el grado en que las futuras inversiones en infraestructura pueden influenciar la expansión del cultivo.



{ Área de Estudio

E

l área de estudio abarca 2.1 millones de km² en la región fronteriza compartida por Bolivia, Brasil y Perú, en la cuenca sureste del Amazonas (Gráfico 1). Actualmente, esta área es un mosaico de bosque tropical, praderas, sabanas y tierras agrícolas que se extienden entre los meandros de grandes ríos. La variedad de paisajes albergan una diversidad considerable de flora y fauna. La población humana se caracteriza por una rica diversidad cultural debido a la convergencia de tres países con diferentes procesos históricos de desarrollo.

Los proyectos para las estaciones de generación de energía hidroeléctrica se construirían en el río Madeira y sus afluentes, el Mamoré y Beni. El río Madeira es uno de los principales afluentes del Amazonas y contribuye con el 15% del flujo anual total del río Amazonas y el 50% de todos los sedimentos que llegan al Atlántico por el curso principal (Goulding et al., 2003). Estos sedimentos constituyen un factor fundamental en la dinámica biológica de las grandes extensiones de bosques inundados (*várzea*) a lo largo del río Madeira y su desembocadura en el Amazonas. La mayoría de la población amazónica rural ocupa estos bosques pues son los más productivos a nivel biológico en la cuenca debido a la gran cantidad de sedimentos que se depositan anualmente (Goulding 1999). El río Madeira también es considerado un tesoro oculto de biodiversidad, albergando aproximadamente 750 especies de peces, 800 especies de aves y otros tipos de fauna y flora, muchos de las cuales se encuentran en peligro de extinción (IRN, 2006).

Las estaciones de generación de energía hidroeléctrica de Jirau y Santo Antônio estarían localizadas en un tramo de 260 km de extensión en el río Madeira, entre las cachuelas de Vila de Abunã y Santo Antônio en el municipio de Porto Velho, Estado de Rondônia (Brasil). Jirau y Santo Antônio estarían ubicadas 136 km y 10 km de Porto Velho, respectivamente. La estación de generación de energía hidroeléctrica de Abunã-Guayaramerín estaría localizada a lo largo de los ríos Mamoré y Madeira², entre los municipios de Abunã, Estado de Rondônia (Brasil) y Guayaramerín, departamento del Beni (Bolivia). La represa la Esperanza se construiría en el salto conocido como “Cachuela Esperanza” en el río Beni, 30 km río arriba de su confluencia con el río Mamoré, en el Estado boliviano de Pando.

Los tres proyectos de pavimentación de carreteras incluidos en este estudio son el Corredor Norte, el Corredor Cuiabá-Santarém y la Carretera Interoceánica. El Corredor Norte tiene 1,386 km de longitud y se extiende desde La Paz hasta Guayaramerín, incluyendo el tramo entre El Chorro y Cobija. Esta carretera se construyó a finales de la década de 1970 y actualmente tiene grandes tramos que son intransitables durante la estación lluviosa (DHV, 2006). El Corredor Norte atraviesa áreas de bosques montanos, bosque tropical, praderas y la parte occidental de las sabanas del Beni, el tercer mayor complejo de sabanas en Suramérica. Esta ecoregión ha sido identificada como un centro de diversidad de flora y endemismo (WWF, 2006).

2 El Mamoré es un río de Bolivia que se une al río Beni para formar el Madeira.

Inaugurada en la década de 1970, la carretera Cuiabá-Santarém se extiende a lo largo de 1,750 km, conectando la ciudad de Santarém, localizada a orillas del río Amazonas, con Cuiabá, la capital de Mato Grosso. Actualmente, el 36% de esta carretera está pavimentada y atraviesa grandes áreas de sabanas (*Cerrado*) y, en menor medida, bosques de transición. Los 990 km restantes de este corredor entre Garantã do Norte y Santarém no están pavimentados y atraviesan un bosque tropical inaccesible y escasamente poblado. La falta de pavimento torna intransitable este trecho durante la mayor parte del año.

La Carretera Interoceánica forma parte de la extensión de la carretera BR-317 en Brasil hacia el territorio peruano, la cual conecta Río Branco con la ciudad fronteriza brasileña de Assis Brasil en el Estado de Acre. El tramo brasileño de esta carretera ya está pavimentado. La Carretera Interoceánica, de unos 1,580 km de extensión, conectará la ciudad fronteriza peruana de Iñapari con los puertos de Ilo y Matarani en el Pacífico. El tramo de esta carretera entre Assis Brasil (Brasil) y Puerto Maldonado (Perú), de unos 600 km de extensión, no está pavimentado y atraviesa áreas de bosque tropical y tierras agrícolas.



{ Métodos

Modelo de productividad de soja

Para predecir el cambio potencial en el uso de la tierra, se utiliza un modelo interdisciplinario de productividad de soja que integra determinantes climáticos y edáficos del rendimiento del cultivo con modelos de regresión que simulan determinantes económicos y espaciales (Vera-Díaz, et al. 2006; Kaufmann y Snell, 1997; Sinclair, 1986).

Este modelo fue desarrollado originalmente para pronosticar la expansión de la soja en la Amazonía Brasileña. El concepto general de este modelo es mostrado en la ecuación (1) y representado en el Gráfico 2 (Gráfico 2: Página 52).

ECUACIÓN (1)

$$YIELD_i = \beta_0 + \beta_1 MYield_i + \beta_2 TCost_i + \beta_3 Credit_i + \beta_4 \ln(Fertil)_i + \beta_5 Lat_i + \beta_6 Long_i + u_i$$

En donde *Yield* es la productividad de la soja expresada en kilogramos por hectárea; *MYield* es la productividad media en kilogramos por hectárea estimada por el modelo de simulación del cultivo de soja - SOYBEAN; *TCost* es el menor costo de transporte de soja calculado desde las áreas productoras hasta los puertos de exportación en dólares por tonelada; *Credit* es el crédito total obtenido por agricultores que cultivan soja dividido entre el área cultivada en dólares por hectárea; *Fertil* es el costo de los fertilizantes (dólares por hectárea), el cual es calculado usando las variables instrumentales edáficas³ pH y profundidad de la raíz; *Lat* es la latitud utilizada como *proxy* del fotoperiodo; *Long* es la longitud; y *u* es el error de la regresión. Los coeficientes estimados en esta ecuación por Vera-Díaz et al. (2006) son implementados con una nueva serie de datos para predecir la expansión del cultivo de soja en la zona fronteriza compartida por Bolivia, Brasil y Perú.

Motivación

El efecto del clima y el ambiente edáfico sobre la productividad de la soja es representado en la ecuación (1) por la variable (*MYield*), la cual indica la productividad de la soja simulada por el modelo SOYBEAN⁴. Las relaciones entre las variables climáticas y edáficas y la productividad probablemente son altamente no-lineales y varían con el desarrollo fenológico de la planta de soja. Por lo tanto, utilizando el producto (*MYield*) del modelo SOYBEAN para capturar la influencia del clima en la productividad de la soja es más eficaz que si se especifican directamente las variables climáticas y edáficas en la ecuación (1). El modelo SOYBEAN fue simulado con datos diarios de precipitación (mm/día), temperatura máxima y mínima (grados K) y flujo de radiación solar neta (Watts por metro cuadrado) entre 1950 y 2001. Las condiciones edáficas y

³ Para más detalles sobre las variables instrumentales usadas en el cálculo del valor de los fertilizantes consultar Vera-Díaz et al. (2006).

⁴ Mayores detalles sobre el modelo de simulación SOYBEAN se pueden obtener en Vera-Díaz et al. (2006).

las prácticas de manejo son también incluidas en el modelo y representadas por las variables profundidad de las raíz⁵ y día de siembra. Un promedio de la producción según el modelo SOYBEAN, es decir, las cosechas de soja (*MYield*), fue estimado para incluirlo en la ecuación (1).

Los costos de transporte tienen un efecto indirecto en la productividad de la soja. Altos costos de transporte reducen los ingresos derivados de la venta de soja, lo cual disminuye la viabilidad económica de los agricultores para la aplicación de insumos tales como fertilizantes y herbicidas, lo que en última instancia conduce a menores productividades. Los precios locales para estos insumos agrícolas también son afectados por los altos costos de transporte. Juntos, estos efectos sugieren que la productividad es negativamente relacionada con los costos de transporte. Datos de costos de transporte fueron calculados utilizando técnicas de análisis espacial (ver próxima sección).

La disponibilidad de crédito otorgado por compañías comercializadoras de granos y por bancos nacionales es un factor decisivo para la producción de soja. Un mayor crédito aumenta la calidad y la cantidad de insumos adquiridos y promueve la inversión en maquinaria agrícola moderna, lo que a su vez tiene un efecto positivo en la productividad de la soja.

El efecto de los fertilizantes sobre la productividad es claro: al aumentar las aplicaciones de fertilizantes aumenta la productividad de la soja. Sin embargo, fertilizantes y productividad son determinados de manera conjunta. La tasa de aplicación de fertilizantes depende de su efecto marginal en la renta, el cual es determinado por el efecto marginal en la productividad, el precio de la soja y el precio de los fertilizantes. Con base en estos cálculos económicos, los agricultores sólo aplican fertilizantes en aquellas áreas donde el valor incrementado de la productividad es mayor que el costo del fertilizante adicional. Esta simultaneidad entre productividad y fertilizantes es direccionada utilizando las variables instrumentales pH y profundidad de la raíz para calcular el valor de los fertilizantes (Vera-Díaz et al., 2006).

La productividad de la soja también es afectada por el fotoperiodo o la longitud del día. La expansión reciente de la soja hacia latitudes bajas (<25°), incluyendo áreas cercanas al Ecuador, ha sido posible gracias al desarrollo de cultivares con genes de juvenilidad prolongada que demoran la floración y la madurez (Hartwig y Kiihl, 1979; Sinclair et al., 2005). A pesar de estos avances, la soja es por naturaleza una planta de días cortos y es menos productiva en latitudes bajas; por lo tanto, se incluye la latitud con el fin de capturar el efecto del fotoperiodo en la productividad de la soja. Por último, en el modelo se especifica la longitud para representar variables omitidas que varían

⁵ La profundidad de la raíz es la profundidad estimada hasta la cual el crecimiento de las raíces no es limitado por impedimentos físicos o químicos, según la clasificación de la FAO (1990).

sistemáticamente en dirección este-oeste, tales como el relieve⁶ o el efecto de variables tendenciosas espacialmente que son incluidas en el modelo SOYBEAN.

Costos de transporte

El enfoque del menor costo acumulado es usado para estimar los costos de transporte y simular el impacto que tendrían las futuras vías fluviales y la pavimentación de carreteras en la expansión de la soja. Haciendo uso de este método y utilizando el software ArcGIS, se calculó el costo de transporte de una tonelada de soja desde cada lugar en el área de estudio hacia el puerto de exportación de soja más accesible, tal como definido por la ruta de costo más bajo.

Se utilizaron dos mapas para calcular los costos de transporte de la producción de soja: *el mapa de puertos de exportación* y *el mapa de uso de la tierra*. El mapa de puertos de exportación incluye los puertos de Itacoatiara, Santarém, São Luis, Paranaguá, Santos, y Rio Grande, en Brasil; Arica en Chile; Ilo y Matarani en Perú; y Buenos Aires en Argentina. Estos puertos representan los principales centros de mercado de la producción de soja.

El *mapa de uso de la tierra* se elaboró sobreponiendo mapas de cobertura vegetal, red de carreteras, líneas de ferrocarril y ríos (Eva et al., 2002; WHRC/IPAM/ISA, 2000). El mapa de cobertura vegetal consta de seis categorías; (1) bosques, (2) bosques inundables, (3) bosques montanos, (4) paisajes estériles y desierto, (5) agricultura y (6) praderas y sabanas. El mapa de red de carreteras fue clasificado en carreteras pavimentadas o no pavimentadas. En el mapa de líneas de ferrocarril se incluyeron las principales líneas de ferrocarril utilizadas para transportar la producción de soja. En el mapa de ríos se clasificaron los ríos como navegables o no navegables. A cada categoría de cobertura vegetal, carreteras, líneas de ferrocarril y ríos se le asignaron valores de costo o coeficientes de fricción⁷ (Tabla 2), que representan el costo por unidad de distancia (US\$/tonelada/km) para transportar la soja. Estos costos se basan en la noción de fricción; algunas células en los mapas digitales son más difíciles y costosas de

⁶ La variable relieve se omitió del modelo de productividad de soja debido a problemas de endogeneidad entre relieve y fertilizantes. Los cultivadores de soja utilizan fertilizantes principalmente en la agricultura mecanizada, la cual es practicada en áreas planas. Por lo tanto, se consideró que las variables relacionadas con los fertilizantes capturan la influencia del tipo de relieve en la productividad de la soja.

⁷ Para este estudio, los coeficientes de fricción se basan en estimaciones previas para el costo de transporte de productos a través de diferentes superficies terrestres (Barros y Uhl, 1995; Barros y Verissimo, 1996; Stone, 1998; Guimarães y Uhl, 1998; Nelson et al., 1999; Verissimo et al., 1992, 1995; y Vera-Díaz et al., 2006). En gran parte, los coeficientes de fricción se derivan de la industria maderera. Haciendo uso de estos valores se asume que la madera puede servir como proxy para todos los productos transportados. Esto se debe a que, en lo que respecta a peso y volumen, la madera es similar a otros productos agrícolas. Estas estimaciones de costos fueron calibradas para reflejar las condiciones del sector de la soja, usando información publicada por Sifreca (2006).

atravesar que otras. Por ejemplo, las carreteras pavimentadas son relativamente fáciles y baratas de atravesar y tienen un coeficiente de fricción bajo comparado con las rutas no pavimentadas (Stone, 1998). Este nuevo mapa de fricción (el *mapa de costo de uso de la tierra*) se utilizó en combinación con el *mapa de puertos de exportación* para calcular la ruta de costo más bajo desde cada lugar en el área de estudio hasta los puertos de exportación, lo que generó el mapa de costos de transporte (Gráfico 3: Página 53). Este procedimiento se calculó mediante el uso de las funciones costo-distancia y costo-asignación disponibles en el software ArcGIS.

TABLA 2 - COSTO (FRICCIÓN) DE ATRAVESAR DIFERENTES SUPERFICIES TERRESTRES

Categoría de uso de la tierra	Coefficientes de fricción \$/tonelada/km
Carretera pavimentada	0,05
Carretera no pavimentada	0,15
Río navegable	0,02
Río no navegable	3,00
Línea de ferrocarril	0,03
Praderas y sabanas	0,30
Bosques	3,00
Bosques inundados	3,00
Bosques montanos	3,00
Paisajes estériles y desierto	3,00

Para evaluar el efecto de los proyectos de infraestructura en los costos de transporte de la soja se simularon: 1) la construcción de las estaciones de generación de energía hidroeléctrica de Jirau y Santo Antônio (Brasil), Abunã-Guayaramerín (Brasil-Bolivia) y Esperanza (Bolivia); y 2) la pavimentación del Corredor Norte (Bolivia), el Corredor Cuiabá-Santarém (Brasil) y la Carretera Interoceánica (Brasil-Perú). Las simulaciones se basaron en los diferentes escenarios de infraestructura que se muestran en la Tabla 3. Las mejoras de infraestructura bajo cada escenario se implementaron en el mapa de ríos mediante la modificación de los píxeles relevantes de “no navegables” a “navegables” tras la construcción de las estaciones de generación de energía hidroeléctrica⁸, y en el mapa de red de carreteras mediante la modificación de los píxeles relevantes de “no pavimentadas” a “pavimentadas”. Estas superficies sirvieron para generar nuevos mapas de menor costo acumulado para los 12 escenarios propuestos, mediante la utilización de las técnicas antes descritas.

⁸ Se asume que los proyectos de las estaciones de generación de energía hidroeléctrica también incluirían la construcción de esclusas y canales de navegación fluvial.

TABLA 3 - DIFERENTES ESCENARIOS DE INFRAESTRUCTURA

Proyectos de infraestructura	Escenarios											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Condiciones actuales	√											
Represa Santo Antônio		√	√	√	√	√	√			√		√
Represa Jirau		√	√	√	√	√	√			√		√
Represa Abunã - Guayamerín			√	√		√	√					
Represa Esperanza				√			√					
Corredor Norte					√	√	√	√	√	√	√	√
Corredor Cuiabá-Santarém									√	√		
Carretera Interoceánica											√	√
Probabilidad de cada escenario (Alta - Media - Baja)		A	M	B	A	M	B	A	A	A	A	A

El Escenario I representa la condición actual de infraestructura de transportes.

El Escenario II incluye la construcción de las estaciones de generación de energía eléctrica Jirau y Santo Antônio, que tornarían navegable el río Madeira entre Porto Velho y Abunã.

El Escenario III incluye la construcción de las represas Jirau, Santo Antônio y Abunã-Guayamerín, lo que permitiría la navegación en el río Madeira (entre Porto Velho y Abunã), en el Mamoré/Guaporé (entre Vila Bela da Santíssima Trindade y Abunã), y en el Mamoré (entre Puerto Grether y Costa Marques).

El Escenario IV agrega la construcción de la represa Esperanza al Escenario III. Esta cuarta represa volvería navegable el río Beni (entre Rurrenabaque y el Mamoré), el Orthon (entre Puerto Rico y Beni), y el Madre de Dios (entre Puerto Maldonado y el Beni).

El Escenario V agrega la pavimentación del Corredor Norte al Escenario II.

El Escenario VI agrega la pavimentación del Corredor Norte al Escenario III.

El Escenario VII agrega la pavimentación del Corredor Norte al Escenario IV.

El Escenario VIII incluye solamente la pavimentación del Corredor Norte.

El Escenario IX considera la pavimentación del Corredor Norte y del Corredor Cuiabá-Santarém.

El Escenario X es el Escenario II más el Escenario IX.

El Escenario XI considera la pavimentación del Corredor Norte y la Carretera Interoceánica.

El Escenario XII es el Escenario II más el Escenario XI.

Los escenarios de infraestructura propuestos fueron clasificados en tres grupos según su probabilidad de implementación. Estas categorías fueron definidas tomando en consideración la situación actual de cada proyecto de infraestructura y una evaluación subjetiva de sus posibilidades de realización a mediano plazo. Los Escenarios II, V, VIII, IX, X, XI y XII se consideran como los más probables, mientras que a los Escenarios III y VI se les asignó una probabilidad mediana, y a los Escenarios IV y VII, una probabilidad baja.

Escenarios de rentabilidad de la soja

La rentabilidad es la ganancia obtenida por el cultivo de la soja. A nivel simple, la rentabilidad es la diferencia entre los ingresos generados por el cultivo de soja y los costos de producción y de transporte⁹. Para calcular la rentabilidad del cultivo de soja se usan los valores de productividad predecidos por el Modelo de Productividad de Soja (*Yield Model*) y el precio promedio de la soja (USDA-WASDE, 1983-2005). Debido a la disponibilidad limitada de información sobre los costos de producción, se incluyeron únicamente los costos de transporte en la estimación de la rentabilidad de la soja. Como el precio local de los insumos agrícolas y el precio de la soja que los agricultores reciben son severamente influenciados por los costos de transporte, se asume que esta variable es una *proxy* razonable para la variación en el costo de producción. Posteriormente, se utilizaron las predicciones de productividad derivadas de la ecuación (1) y los mapas de costos de transporte generados en estudio para estimar doce escenarios de rentabilidad de la soja en el área de estudio. El costo de transporte es la variable que cambia en cada mapa de rentabilidad de la soja según la simulación de los escenarios alternativos de infraestructura.

Fuente y manipulación de datos

Los datos diarios de clima (precipitación, temperatura y radiación solar) del periodo 1950-2001 utilizados en el modelo SOYBEAN, fueron obtenidos del proyecto de re-análisis NCEP-NCAR, el cual usa modelos climáticos para interpolar medidas terrestres espacial y temporalmente (NASA/NCEP/NCAR, 2004). Los datos de la profundidad de la raíz fueron extraídos del mapa de suelos de SOTERLAC, cuya escala original es de 0.5 grados para cuatro categorías de profundidad (muy superficial < 30cm; poco profunda 30-50 cm; moderadamente profunda 50-150 cm; muy profunda > 150 cm) (ISRIC, 1998). Estas categorías fueron convertidas en valores (por ejemplo, 15 cm, 40 cm, 100 cm y 150 cm) para su utilización en el modelo SOYBEAN.

Para calcular el valor de fertilizantes $\ln(Fertil)$, se reclasificó la información sobre la profundidad de la raíz como sigue: 1 = profundidad efectiva de las raíces (> de 50 cm),

⁹ $Rentabilidad = (productividad * precio) - (costo de producción + costo de transporte)$.

y 0 = profundidad no-efectiva de las raíces (< de 50 cm)¹⁰. La información sobre el pH del suelo se derivó de un mapa de suelos de SOTERLAC de 0.5 grados de resolución, con valores que oscilaban entre 4.5 (muy ácido) y 6.6 (básico). Los valores de fertilizantes $\ln(\text{Fertil})$ precedidos por las variables profundidad de la raíz y pH se utilizaron como instrumentos para calcular la ecuación (1).

Los datos para estimar los mapas de costos de transporte fueron obtenidos a partir de una serie de datos espaciales recopilados por WHRC, ISA e IPAM. La serie de datos incluye mapas de cobertura vegetal, carreteras, líneas de ferrocarril, ríos y puertos. Los datos sobre la cobertura vegetal a 1 km² de resolución se derivaron de Eva et al. (2002). El mapa original de cobertura de vegetal tiene más de cuarenta clases, las cuales se reclasificaron en seis categorías: bosques, bosques inundados, bosques montanos, paisajes estériles y desiertos, agricultura, y praderas y sabanas. Los datos sobre la red de carreteras, ríos y puertos fueron proporcionados por WHRC/IPAM/ISA (2000). La red de carreteras fue clasificada en caminos de tierra y carreteras pavimentadas. Los ríos fueron clasificados como navegables o no navegables. El mapa de los puertos, elaborado por las mismas instituciones, incluye los principales puertos de exportación de Suramérica, de los cuales se seleccionaron los puertos primarios que se utilizan para exportar soja en Brasil, Bolivia y Perú: Itacoatiara, Santarém, São Luis, Paranaguá, Santos y Rio Grande en Brasil; Arica en Chile; Ilo y Matarani en Perú; y Buenos Aires en Argentina.

Los datos de crédito y la fecha de siembra a nivel de zona censitaria y departamental fueron obtenidos del Censo Agrícola Brasileño de 1995-1996 (IBGE, 1996), ANAPO (2004) e INEI (1994). Estos datos fueron espacializados usando el software ArcGIS y cada polígono fue transformado en centroide y representado por sus coordenadas X y Y. Luego, se utilizaron técnicas de interpolación para calcular las superficies o mapas de crédito y fecha de siembra.

Todos los datos originales se convirtieron a formato *raster* de 2 km² de resolución espacial.

¹⁰ Estas categorías se basan en estudios empíricos que indican que la profundidad de la raíz supera los 50 cm cuando la planta entra en la fase reproductiva de floración (Jones et al., 2005).

{ Resultados

Escenarios de costo de transporte de la soja

Los costos de transporte de la soja varían considerablemente a través del área de estudio, oscilando entre US\$14 y US\$576 por tonelada. Bajos costos de transporte predominan en Mato Grosso (Brasil) y Santa Cruz (Bolivia) debido a una mejor condición de las carreteras. Estas regiones se caracterizan por grandes extensiones de tierras agrícolas y de pastoreo, factores que reducen la fricción para el movimiento de carga.

Bajo las condiciones actuales de infraestructura, un área equivalente a 1 millón de km² tiene costos de transporte inferiores a US\$100 por tonelada¹¹ (Tabla 4). La mayor parte de esta área (67%) se encuentra en el Estado de Mato Grosso, el principal productor de soja de Brasil.

TABLA 4 - ÁREA CON COSTOS DE TRANSPORTE <= US\$100/TON/KM

Escenarios	Área Total km ²	Incremento	
		km ²	%
I	1.068.521		
II	1.070.336	1.815	0,2%
III	1.079.986	11.465	1%
IV	1.113.200	44.679	4%
V	1.132.106	63.585	6%
VI	1.153.130	84.609	8%
VII	1.237.467	168.946	16%
VIII	1.129.323	60.802	6%
IX	1.144.146	75.625	7%
X	1.146.929	78.408	7%
XI	1.192.183	123.662	12%
XII	1.194.905	126.384	12%

Las inversiones en infraestructura simuladas en los 11 escenarios alternativos reducen los costos de transporte y aumentan en diferente grado el área apta para el cultivo de soja (Tabla 4 y Anexo 1: Página 59). Este aumento oscilaría entre 1,815 km² (Escenario II) y 168,946 km² (Escenario 7), o entre menos del 1% y el 16%, respectivamente. En todos los escenarios propuestos, excepto en el Escenario II, más del 60% del aumento del área apta para el cultivo se localizaría en Bolivia¹². La mayoría del área ampliada,

¹¹ Según la Asociación Nacional de Exportadores de Granos de Brasil (ANEC), en Brasil el costo de transporte de una tonelada de soja desde las plantaciones hasta los puertos es de US\$37 en media. Estos valores muestran alta variabilidad a lo largo del territorio Brasileño, y en algunos casos se elevan hasta US\$100 por tonelada. En este estudio se asume la cantidad de US\$100 por tonelada como umbral para los costos "bajos" de transporte. Si el valor es superior a esta suma los costos se consideran prohibitivos.

¹² Según el Escenario II, Brasil –específicamente el Estado de Rondônia– sería el más afectado por los proyectos de infraestructura planificados.

con costos de transporte inferiores a US\$100 por tonelada, estaría localizada en el departamento de Beni.

A pesar de que las reducciones en los costos de transporte simuladas en todos los escenarios ocurrirían principalmente en territorio boliviano, 80% del área total con bajo costo de transporte estaría localizada en el Brasil. Esta área oscilaría entre 894,281 km² (Escenario II) y 935,330 km² (Escenario VII) y se localizaría principalmente en los Estados de Mato Grosso y Pará, donde ya existen grandes plantaciones de soja.

Los escenarios de infraestructura con pavimentación de carreteras (VIII, IX y XI) provocarían reducciones considerablemente mayores en los costos de transporte que aquellos que sólo incluyen la construcción de represas y canales de navegación (II, III y IV) y afectarían un área dos veces mayor que la infraestructura de navegación.

Escenarios de rentabilidad de la soja

Bajo las condiciones actuales, aproximadamente 853,474 km² (40%) del área de estudio tiene potencial para plantar soja y generar alta rentabilidad económica (superior a US\$300/ha/año)¹³. Del área con potencial para generar alta rentabilidad, el 57% se encuentra en áreas de bosque; el 25%, en tierras agrícolas; y el 15%, en praderas y sabanas (Gráfico 4). La mayoría de las áreas con alta rentabilidad económica están localizadas en Mato Grosso (60%) y Santa Cruz (14%), donde las redes de carreteras son más desarrolladas. Un área de 166,405 km² con potencial para generar altas rentabilidades se encuentra en tierras indígenas y áreas protegidas de Bolivia (52%), Brasil (46%) y Perú (1%). En la mayoría de estas áreas la producción de soja está legalmente prohibida; no obstante, las mismas son objeto de presión creciente por parte de los cultivadores de soja.

Con nueva infraestructura, el área con potencial para generar altas rentabilidades mediante el cultivo de soja podría oscilar entre 860,068 km² (Escenario II) y 996,223 km² (Escenario VII), lo que significa un incremento entre el 1% y el 17%, respectivamente (Tabla 5 y Anexo 2: página 62).

Si se consideran únicamente los escenarios con alta probabilidad de implementación a mediano plazo (II, V, VIII, IX, X, XI y XII), se observa que la construcción de las estaciones de generación de energía hidroeléctrica de Jirau y Santo Antônio y la pavimentación del Corredor Norte y la Carretera Interoceánica (ambos proyectos incluidos en el Escenario XII) causarían el mayor incremento (123,329 km²) en el área de cultivo de soja con alta rentabilidad. El 80% de este incremento se localizaría en áreas de bosque;

¹³ En la práctica, los agricultores que cultivan soja invierten un promedio de US\$250/ha en costos de producción (Embrapa, 2002). Estos costos de producción no se toman en cuenta en nuestro cálculo. Por consiguiente, el umbral para una alta rentabilidad de la soja se fijó en US\$300/ha, asumiendo una ganancia superior al 15% tras la deducción de estos costos de producción.

el 11%, en praderas y sabanas; y el 7%, en áreas agrícolas. Bajo este escenario, el 63% del incremento total se localizaría en Bolivia; el 29%, en Brasil; y el 8%, en Perú. Más del 80% del área incrementada en Bolivia se localizaría en los departamentos de Pando y Beni. En Brasil y Perú, las iniciativas de infraestructura afectarían principalmente al Estado de Acre y al departamento de Madre de Dios, respectivamente. El área total incrementada bajo el Escenario XII abarcaría 37,692 km² de áreas protegidas y tierras indígenas en Bolivia (73%), Brasil (22%) y Perú (5%).

TABLA 5 - ÁREA DE CULTIVOS DE SOJA CON ALTA RENTABILIDAD (>= US\$300/HA)

Escenarios	Área Total km ²	Incremento	
		km ²	%
I	853.474		
II	860.068	6.594	0,8%
III	875.738	22.264	3%
IV	927.526	74.052	9%
V	912.733	59.259	7%
VI	929.401	75.927	9%
VII	996.223	142.749	7%
VIII	906.441	52.967	6%
IX	930.914	77.440	9%
X	937.206	83.732	10%
XI	974.685	121.211	14%
XII	976.803	123.329	14%

La evaluación individual de la construcción de las represas Jirau y Santo Antônio (Escenario II) y de la pavimentación del Corredor Norte y la Carretera Interoceánica (Escenario XI), revelan que los proyectos de carreteras podrían representar más del 90% del incremento de 123,329 km² en el área con potencial para plantar soja y generar altas rentabilidades, e influenciarían principalmente el Estado de Acre y los departamentos de Pando y Beni (Gráfico 5: página 55). La construcción de las dos estaciones de generación de energía hidroeléctrica no modificaría substancialmente el transporte de la soja hacia los puertos de exportación y, por lo tanto, ocasionarían un impacto mínimo en el incremento del área apta para el cultivo de soja (menos del 1%). Las represas estimularían la expansión sobre todo en los Estados brasileños de Rondônia y Acre (Gráfico 6: página 56).

El Escenario VII de baja probabilidad de implementación (construcción de cuatro estaciones de generación de energía hidroeléctrica y pavimentación del Corredor Norte) podría ser el más catastrófico a nivel ambiental si las áreas apuntadas como aptas para el cultivo de soja se convirtieran efectivamente en áreas cultivadas. Según este escenario, el área con alto potencial para el cultivo de soja se ampliaría de 853,474 km²

a un millón de km² aproximadamente. Esto significaría un incremento del 17%, del cual el 23% estaría localizado en áreas protegidas y el 12%, en tierras indígenas.

En términos generales, la pavimentación de las carreteras tendría un potencial mayor de expansión de la frontera agrícola que el desarrollo de los proyectos de navegación del río Madeira. Por ejemplo, el área potencial para cultivar soja se incrementaría siete veces más con la pavimentación del Corredor Norte (Escenario VIII) que con la construcción de las estaciones de generación de energía hidroeléctrica de Jirau y Santo Antônio (Escenario II). La pavimentación del Corredor Norte y la Carretera Interoceánica (Escenario XI) ampliaría el área potencial para el cultivo de soja en 114,617 km². Esto equivaldría a un aumento del 64% con relación al incremento producido por la construcción de las cuatro estaciones de generación de energía hidroeléctrica en el área de estudio (Escenario IV). Estudios anteriores indican que la infraestructura de carreteras es el indicador más contundente para predecir la expansión de la frontera y la consiguiente deforestación en regiones de bosques tropicales (Kaimowitz y Angelsen, 1998). Más de dos tercios de la deforestación en la región Amazónica ocurre dentro de 50 km a lo largo de las principales carreteras pavimentadas, en donde la agricultura, ganadería y actividades de extracción de madera son económicamente viables (Nepstad et al., 2001; Alves, 2002).



{ Conclusiones

N

uestros resultados indican que los megaproyectos de navegación y la pavimentación de carreteras, proyectadas para la región fronteriza entre Bolivia, Brasil y Perú, en la cuenca amazónica suroccidental, tienen un potencial considerable para incentivar la expansión del cultivo de soja debido a que estos megaproyectos reducirían los costos de transporte. En todos los escenarios¹⁴ construidos, el mayor impacto económico y ecológico a partir de los nuevos proyectos de infraestructura se observaría en el noroeste de Bolivia. No obstante, el Estado de Mato Grosso (Brasil) seguiría teniendo el área más extensa para la producción de soja con altas rentabilidades.

De los escenarios con altas probabilidades de implementación a mediano plazo, el Escenario XII causaría los mayores impactos económicos y ecológicos. La construcción de las plantas de generación de energía hidroeléctrica de Jirau y Santo Antônio y la pavimentación del Corredor Norte y la Carretera Interoceánica, contempladas bajo este escenario, ampliarían el área con potencial para generar altas rentabilidades, de 853,474 km² a 976,803 km², lo que indica una variación del 13%. Entre las categorías de uso de la tierra, la más afectada sería la de bosques húmedos de tierras bajas.

Aunque nuestro estudio demuestra que las carreteras tienen mayor potencial que las represas para estimular la expansión de la soja, los proyectos del Madeira tendrían otros impactos ambientales que no son abordados en este documento. Aun cuando el proyecto todavía se encuentra en la fase de licenciamiento ambiental, las expectativas derivadas de la construcción de las represas de Jirau y Santo Antônio ya han registrado efectos adversos tales como la deforestación ilegal y la migración y el asentamiento desordenado¹⁵ en el distrito de Jaci-Paraná de Porto Velho¹⁶ (Derivi, 2006). Los proyectos causarían un impacto en las tierras indígenas de Karitiana. Además, ocasionarían la pérdida de especies migratorias de peces y de hábitat acuático y terrestre. Por último, tal como se menciona en este estudio, otros impactos podrían incluir la interrupción del transporte de sedimentos, la elevación de los niveles de las aguas subterráneas, inundaciones, y alteración de la calidad y la dinámica de los recursos hidrológicos (Furnas/Odebrecht/Leme, 2005; IRN, 2006). Algunas de las fluctuaciones más dramáticas del nivel de los ríos en la cuenca del Amazonas ocurren río abajo de los rápidos del Madeira, entre Porto Velho y la desembocadura del río Manicoré (Goulding, 2003) y esta dinámica podría ser totalmente alterada por las represas. Los impactos también se extenderían río arriba hacia Bolivia, ya que el río Madeira drena casi todo el territorio amazónico boliviano, un área de 724,000 km² que equivale al 66% del país. La magnitud y el alcance de estos impactos podrían tornar las represas del Madeira más perjudiciales a nivel ambiental que las carreteras analizadas y, por lo tanto, merecen otros estudios complementarios.

¹⁴ Excepto el Escenario II, que afectaría principalmente los Estados de Rondônia y Acre en Brazil.

¹⁵ Furnas y Odebrecht, las empresas que proponen la construcción, declararon que el proyecto generaría unos 20,000 empleos directos en cada planta. Sus representantes han indicado que otorgarían prioridad al empleo local en todas las comunidades que podrían verse afectadas por las plantas de generación de energía eléctrica (Furnas/ Odebrecht/ Leme, 2005; Derivi, 2006).

¹⁶ Porto Velho es la capital del Estado de Rondônia.

En la mayoría de los escenarios (excepto en el II) las inversiones en infraestructura podrían provocar grandes impactos indirectos en los ecosistemas de Bolivia, lo que incluye amenazas permanentes a las áreas protegidas y tierras indígenas. Vale la pena destacar que las proyecciones del área potencial de expansión del cultivo de soja no excluyen las áreas protegidas. Estas áreas tienen protecciones legales contra la conversión de los ecosistemas naturales y han demostrado ser eficaces – en diferentes grados – en la prevención de la deforestación (Nepstad, et al. 2006). En teoría, por lo tanto, el área real de expansión sería inferior a la proyectada. Sin embargo, aun si se evitara por completo la deforestación, como mínimo las áreas protegidas e indígenas correrían el riesgo de quedar aisladas ecológicamente a medida que se produce la conversión de las tierras circundantes y se intensifica la cacería y la extracción de madera ilegal. Estas presiones también elevarían los costos para vigilar los límites y aplicar las regulaciones de estas áreas (Fleck & Painter, 2007).

La conservación de especies fuera de las áreas protegidas también requiere atención con la construcción de nueva infraestructura. Por ejemplo, todavía existen especies endémicas de primates (*Callicebus ollalae* y *C. modestus*) y una especie de paraba (*Ara glaucogularis*) que no están protegidas y cuya distribución es restringida a lo largo del Corredor Norte (Martinez & Wallace, in press; Felton et al., 2006; Armonia, 2005). Algunas de estas especies viven en pequeños parches de bosques intercalados en las sabanas de Beni y serían particularmente vulnerables a la pérdida de hábitat derivada de la expansión del cultivo de soja. La pavimentación del Corredor Norte debería incluir medidas preventivas y coordinadas para la conservación de estas especies, tales como la creación de nuevas áreas protegidas antes del inicio de la obra. Habría que identificar otras especies y hábitats de importancia fundamental que serían particularmente amenazadas por la expansión del cultivo de soja y disponer medidas apropiadas de conservación.

Limitaciones asociadas a los datos disponibles y análisis podrían haber afectado la precisión de nuestros resultados. Por ejemplo, las simulaciones muestran una alta rentabilidad para la soja en partes del noreste de Bolivia, en donde ésta no se cultiva. Esto podría ser una distorsión debida a la información deficiente sobre las carreteras. Para este estudio no se tuvo acceso a información exhaustiva sobre la red de carreteras, la que idealmente incluiría todas las categorías de carreteras, condiciones de la superficie y tipo de relieve atravesado por cada carretera. Tuvimos que limitarnos al uso de valores promedio del costo de transporte en carreteras pavimentadas y no pavimentadas. Además, los costos de transporte de la soja se estimaron asumiendo que éstos reflejan la distancia de una manera razonablemente coherente. En la realidad, los precios del transporte rara vez se basan en un principio estricto de distancia. La estructura de los precios del transporte de carga es compleja y es determinada no sólo por la distancia sino también por otros factores, tales como tarifas decrecientes, agrupación y competición.

La baja resolución de los mapas climáticos y de suelos también podría haber afectado nuestras predicciones. Por ejemplo, las restricciones de los suelos relacionadas con el nivel de pH y la profundidad de la raíz son difíciles de capturar en el modelo debido a la falta de datos de alta resolución. No obstante dichas limitaciones, este estudio proporciona un indicador importante respecto a la magnitud potencial de los impactos derivados del desarrollo de infraestructura a lo largo de un área extensa de la cuenca Amazónica.

Por último, es importante señalar que este estudio no es un análisis de costo-beneficio. Los costos de los proyectos de infraestructura no se calcularon ni se compararon contra los beneficios en moneda corriente. Por lo tanto, nuestros resultados no proporcionan indicadores sobre la viabilidad financiera o económica de proyectos en particular, y por supuesto no determinan si los proyectos deberían llevarse a cabo o no. Sin embargo, en este estudio se proporciona un marco conceptual, matemático y cartográfico para entender el alcance potencial de la expansión de la producción de soja y los impactos ambientales resultantes de las inversiones en infraestructura. Adicionalmente, se proporcionan algunos indicadores sobre los potenciales impactos sociales derivados de la concentración de la tenencia de tierra que por lo general acompaña al cultivo de soja. Esta información podría ser utilizada por formuladores de políticas y agencias de desarrollo al considerar nuevas inversiones, y por organizaciones de conservación en sus esfuerzos por predecir amenazas ambientales futuras.



{ Bibliografía

- ALENCAR, A., MICOL, L., REID, J., AMEND, M., OLIVEIRA, M., ZEIDEMANN, V. y JÚNIOR, W., (2005). A pavimentação da BR-163 e os desafios à sustentabilidade: uma análise econômica, social e ambiental. Conservation Strategy Fund, Brasil, pp. 28.
- ALENCAR, A., NEPSTAD, D., McGRATH, D., MOUTINHO, P., PACHECO, P., VERA-DIAZ, M.D.C. y SOARES, B., (2004). Desmatamento na Amazônia: Indo Além da Emergência Crônica. IPAM, Belém, Brasil, pp. 85.
- ALVES, D., (2002). An Analysis of the Geographical Patterns of Deforestation in the Brazilian Amazon in the Period 1991-1996. In: C. H. Wood y R. Porro (Eds.), Deforestation and Land Use in the Amazon. University Press of Florida, Gainesville, FL, pp. 95-106.
- ANAPO, (2004). Anuario Estadístico 2004. The Brazil National Association of Grain Exporters (ANEC)
- ARMONIA (2005). Reporte Técnico 2005, Programa para la Conservación de la Paraba Barba Azul.
- BARROS, A. C. y UHL, C., (1995). Logging along the Amazon River and Estuary: Patterns, Problems and Potential. *Forest Ecology and Management* 77: 87-105.
- BARROS, A. C. y VERÍSSIMO, A., (1996). A Expansão da Atividade Madeireira na Amazônia: Impactos e Perspectivas para o Desenvolvimento Sustentável no Pará. Belém: Imazon. 168 p.
- CÁCERES VEGA, F., (2000). Estudio de los impactos actuales y potenciales debido a inmigración reciente a la zona de influencia del PN-ANMI Madidi. CARE.
- CNO S.A., (2003). Complexo do Rio Madeira. 29ª Reunião da Câmara Técnica de Análise de Projeto – CTAP, 28 de Outubro de 2003. Power Point Presentation.
- DERIVI, C., (2006). Madeira River - Land Seculation and Deforestation in the Area of Influence of the Power Plants is already a Reality. 05/19/2006.
<http://www.amazonia.org.br/english/noticias/noticia.cfm?id=209524>

- DHV, (2006). Evaluación Ambiental Estratégica del Corredor Norte de Bolivia. Resumen Ejecutivo, La Paz, Bolivia.
- EMBRAPA (2002). Estimativa do custo de produção de soja, safra 2002/03. Comunicado Técnico 58.
- EVA, H. D., MIRANDA, E. E. de., DI BELLA, C. M., GOND, V., HUBER, O., SGRENZAROLI, M., JONES, S., COUTINHO, A., DORADO, A., GUIMARÃES, M., ELVIDGE, C., ACHARD, F., BELWARD, A. S., BARTHOLOMÉ, E., BARALDI, A., GRANDI, G. D., VOGT, P., FRITZ, S. y HARTLEY, A., (2002). A Vegetation Map of South America. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg. 29 p.
- FAO, (1990). Guidelines for Soil Description. 3rd Edition (Revised). FAO, Roma.
- FEARNSIDE, P. M., (1986). Spatial Concentration of Deforestation in the Brazilian Amazon. *Ambio* 15(2): 72-79.
- FEARNSIDE, P. M., (1987). Causes of Deforestation in the Brazilian Amazon. In: Dickinson, R. F. (Eds.), *The Geophysiology of Amazonia: Vegetation and Climate Interactions*. John Wiley & Sons, Nueva York. 526 p.
- FEARNSIDE, P. M., (1997). Limiting Factors for Development of Agriculture and Ranching in Brazilian Amazonia. *Revista Brasileira de Biologia* 57(4): 531-549.
- FEARNSIDE P. M., (2001). Soybean Cultivation as a Threat to the Environment in Brazil. *Environmental Conservation* 28: 23-38.
- FELTON, A., FELTON, A., WALLACE, R. y GÓMEZ, H., (2006). Identification, behavioral observations, and notes on the distribution of the Titi Monkeys *Callicebus modestus* Lönnberg, 1939 and *Callicebus olallae*, Lönnberg, 1939. *Primate Conservation* (20):41-46.
- FLECK, L. C. y PAINTER, L., (2007). Carreteras y áreas protegidas: evaluación económica y costos de mitigación ambiental de carreteras proyectadas para el norte de la Amazonía Boliviana. Brasil: Conservation Strategy Fund.

- FURNAS/ODEBRECHT/LEME, (2005). Estudo de Impacto Ambiental: Aproveitamentos Hidrelétricos Santo Antônio e Jirau Rio Madeira – RO.
- GOULDING, M., (1999). Amazon: The Flooded Forest. Sterling Pub Co Inc. 208 p.
- GOULDING, M., BARTHEM, R. y FERREIRA, E., (2003). The Smithsonian Atlas of the Amazon. Washington and London. Smithsonian Books. 256 p.
- GUIMARÃES y UHL., (1998). O Transporte Rural na Amazônia Oriental: Limites, Opções e Oportunidades. Belém: Imazon. 28 p. (Série Amazônia, n.12)
- HARTWIG, E. E. y R. A. S. KIIHL, (1979). Identification and Utilization of a Delayed Flowering Character in Soybean for Short-day Conditions. Field Crops Research 2: 145-151.
- IBGE, (1996). Brazilian Agricultural Census. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, CD.
- IBGE, (2006). Municipal Agricultural Production (PAM).
<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/acervo/acervo2.asp?e=v&tp=PA&z=t&o=10>.
- INEI, (1994). III Censo Nacional Agropecuario (Peru). <http://www.inei.gob.pe/>
- IRN, (2006). The Amazon under Threat: Damming the Madeira. <http://www.irn.org/pubs/factsheets/madeira/MadeiraFact.pdf#search=%20jirau%20and%20santo%20Antônio%22>
- ISRIC, (1998). A Soils and Terrain Digital Database for Latin and Central America and the Caribbean (SOTERLAC). <http://www.isric.nl>.
- JONES, A. J., DICKEY, E. C., EISENHAUER, D. D. y WIESE, R. A., (2005). Identification of Soil Compaction and Its Limitations to Root Growth. Cooperative Extension, Institute of Agriculture and Natural Resources, University of Nebraska-Lincoln. <http://ianrpubs.unl.edu/soil/g831.htm>.
- KAIMOWITZ, D. y ANGELSEN, A., (1998). Economic Models of Tropical Deforestation: A Review. Center of the International Forestry Research (CIFOR), Bogor, Indonesia.

- KAUFMANN, R. y SNELL, S., (1997). A Biophysical Model of Corn Yield: Integrating Physical and Economic Determinants. *American Journal of Agricultural Economics* 79(1): 178-180.
- MARTINEZ, J. y WALLACE, R., (in press). Further Notes on the Distribution of the Bolivian Endemic Titi Monkeys, *Callicebus modestus* and *Callicebus olallae*.
- MOLINA, Jorge, (2002?). El Megaproyecto Hidroeléctrico y de Navegación del Río Madera. In *Geopolítica de los Recursos Naturales y Acuerdos Comerciales en América*. FOBOMADE – Foro Boliviano sobre Medio Ambiente y Desarrollo.
- NAIDOO, R., BALMFORD, A., FERRARO, P., POLASKY, S., RICKETTS, T., y ROUGET, M., (2006). Integrating economic costs into conservation planning. *TREE*, 21(12): 681-687.
- NASA/NCEP/NCAR, (2004). Climate Daily Data (1995-1996).
<http://dss.ucar.edu/pub/reanalysis/>
- NELSON, G., HARRIS, V. y STONE, S. W., (1999). Spatial Econometric Analysis and Projection Evaluation: Modeling Land Use Change in the Darién. Inter-American Development Bank, Sustainable Development Department, Environment Division., Washington D.C.
- NEPSTAD, D., CARVALHO, G., BARROS, A. C., ALENCAR, A., CAPOBIANCO, J. P., BISHOP, J., MOUTINHO, P., LEFEBVRE, P. y SILVA Jr, U., (2001). Road Paving, Fire Regime Feedbacks, and the Future of Amazon Forests. *Forest Ecology & Mgt.* 154: 395-407.
- NEPSTAD, D., SCHWARTZMAN, S., BAMBERGER, B., SANTILLI, M., RAY, D., SCHLESINGER, P., LEFEBVRE, P., ALENCAR, A., PRINZ, E., FISKE, G. y ROLLA, A., (2006). Inhibition of Amazon Deforestation and Fire by Parks and Indigenous Lands. *Conservation Biology* 20(1): 65-73.
- PCE/FURNAS/CNO, (2002). Inventário Hidrelétrico do Rio Madeira, trecho Porto Velho-Abunã, relatório final. Noviembre, 2002.
- UNDP, (2000). Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil. CD. PNUD / IPEA / FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO.

- SIFRECA, (2006). Fretes Rodoviários, Hidroviários e Marítimos. Departamento de Economia, Administração e Sociologia, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ/USP). <http://sifreca.esalq.usp.br/sifreca/pt/fretes/rodoviarios/index.php>
- SINCLAIR, T. R., (1986). Water and Nitrogen Limitations in Soybean Grain Production I. Model Development. *Field Crops Research* 15(2): 125-141. 1986/11.
- SINCLAIR, T. R., NEUMAIER, N., FARIAS, J. R. B. y NEPOMUCENO, A. L., (2005). Comparison of Vegetative Development in Soybean Cultivars for Low-Latitude Environments. *Field Crops Research* 92(1): 53-59. 2005/4/14.
- STEWART, C., (2004). The Santarém Agricultural Landscape, Pará, Brazil. Working Paper Yale School of Forestry and Environmental Studies.
- STONE, S. W., (1998). Using a geographic information system for applied policy analysis: the case of logging in the Eastern Amazon. *Ecological Economics* 27(1): 43-61. 1998/10.
- USDA-WASDE, 1983-2005. World Agricultural Supply and Demand Estimates. USDA, Office of the Chief Economics. <http://usda.mannlib.cornell.edu/usda/usda.html>.
- VERA-DIAZ, M.D.C., KAUFMANN, R., NEPSTAD, D., y SCHLESINGER, P., (2006). An Interdisciplinary Model of Soybean Yield in the Amazon Basin: The Climatic, Edaphic, and Economic Determinants. Accepted in *Ecological Economics*, agosto de 2006.
- VERA-DIAZ, M. d. C., KAUFMANN, R. y NEPSTAD, D., (2004). Spatial Variations of Soybean Transport Costs in Brazilian Amazon. Manuscrito.
- VERÍSSIMO, A., BARRETO, P., TARIFA, R. y UHL, C., (1995). Extraction of a High-value Natural Resource in Amazônia: the Case of Mahogany. *Forest Ecology and Management* 72: 39-60.
- VERÍSSIMO, A., BARRETO, P., MATTOS, M., TARIFA, R. y UHL, C. (1992). Logging Impacts and Prospects for Sustainable Forest Management in an Old Amazon Frontier: the Case of Paragominas. *Forest Ecology and Management* 55: 169-199.

WHRC/IPAM/ISA, (2000). Pan Amazonian infrastructure database.

WWF, (2006). Beni Savanna. Review in process.

http://www.worldwildlife.org/wildworld/profiles/terrestrial/nt/nt0702_full.html

ZONISIG, DHV Consultores, ITC, (1997). Zonificación Agroecológica y Socioeconómica y Perfil Ambiental del Departamento de Pando. La Paz.



{ Gráficos

GRÁFICO 1 - PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA

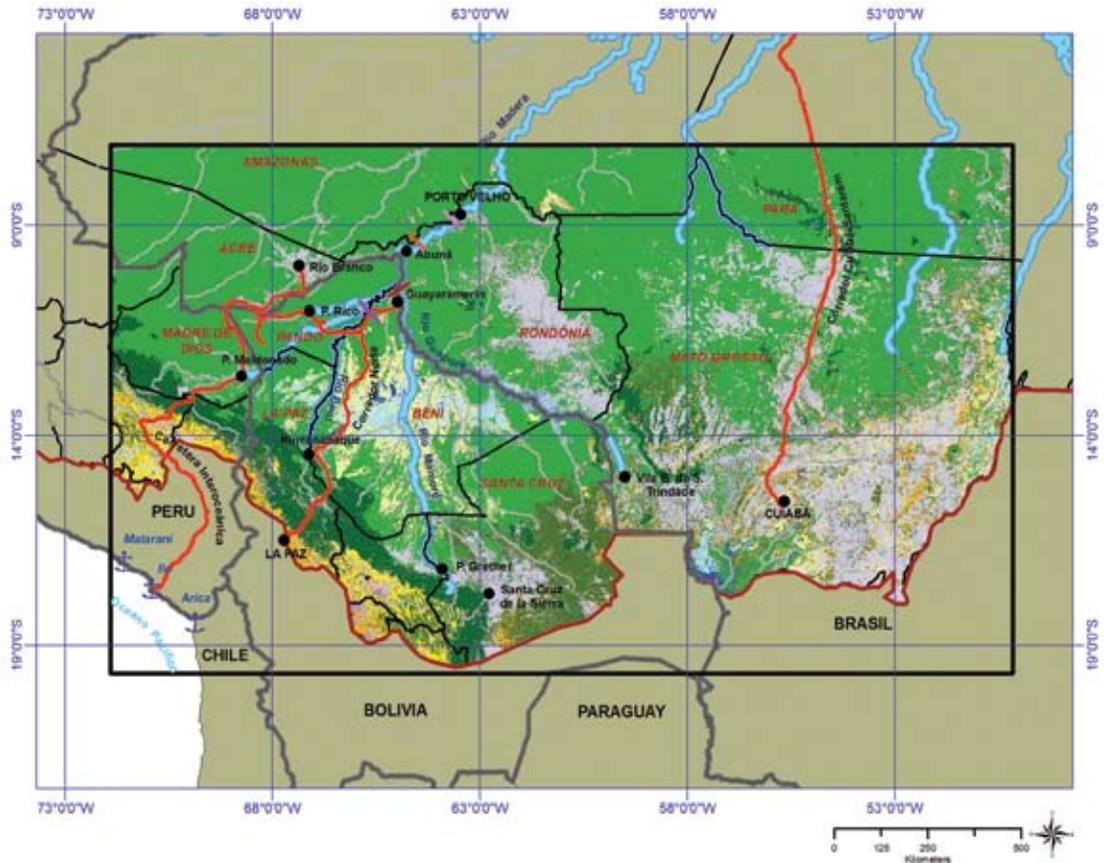


GRÁFICO 2 - REPRESENTACIÓN DEL MODELO DE PRODUCTIVIDAD DE SOJA

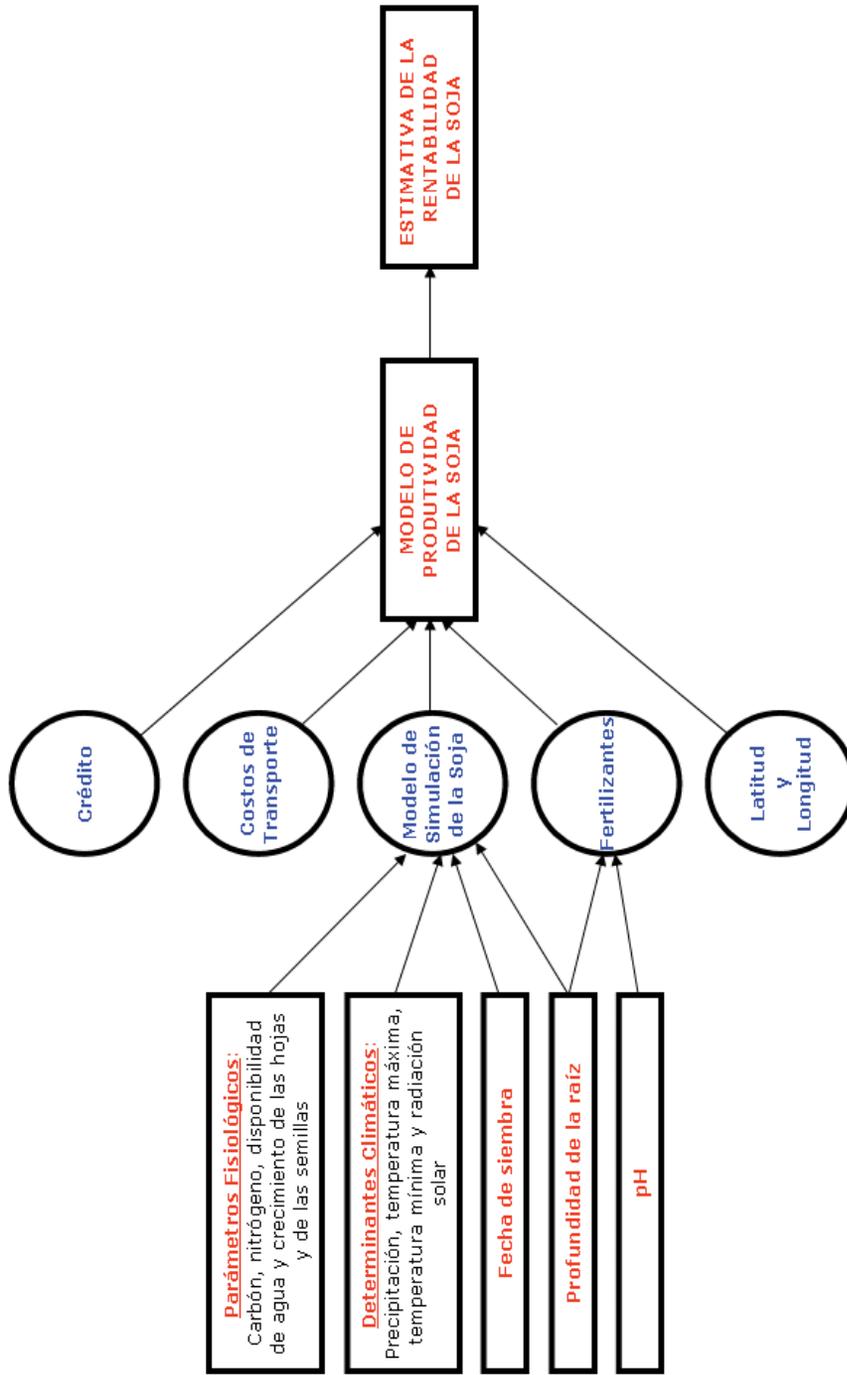
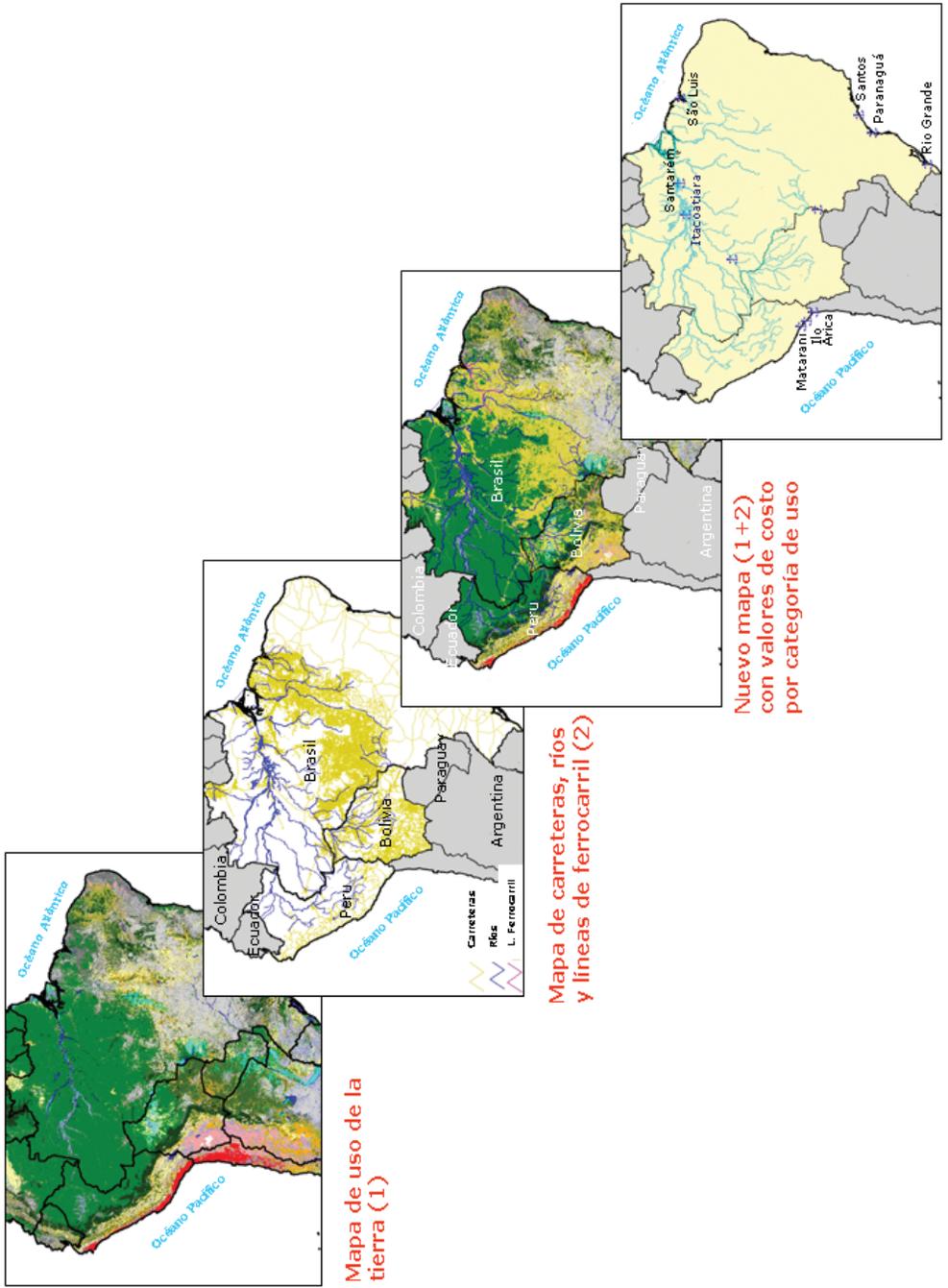


GRÁFICO 3 - MAPAS UTILIZADOS EN LA ELABORACIÓN DEL MAPA DE COSTOS DE TRANSPORTE



Mapa de puertos

GRÁFICO 4 - MAPA DE RENTABILIDAD ATRACTIVA AL CULTIVO DE SOJA BAJO CONDICIONES ACTUALES

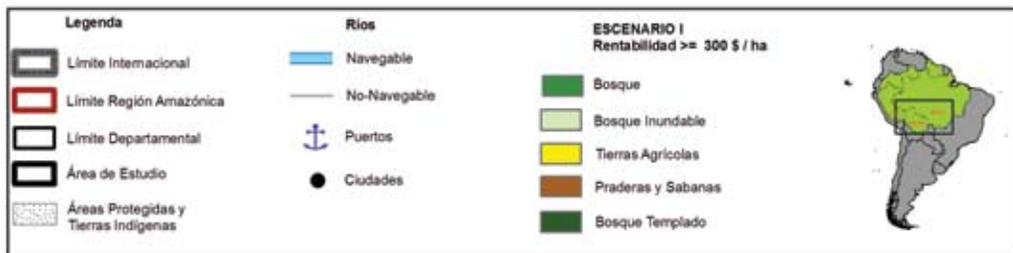
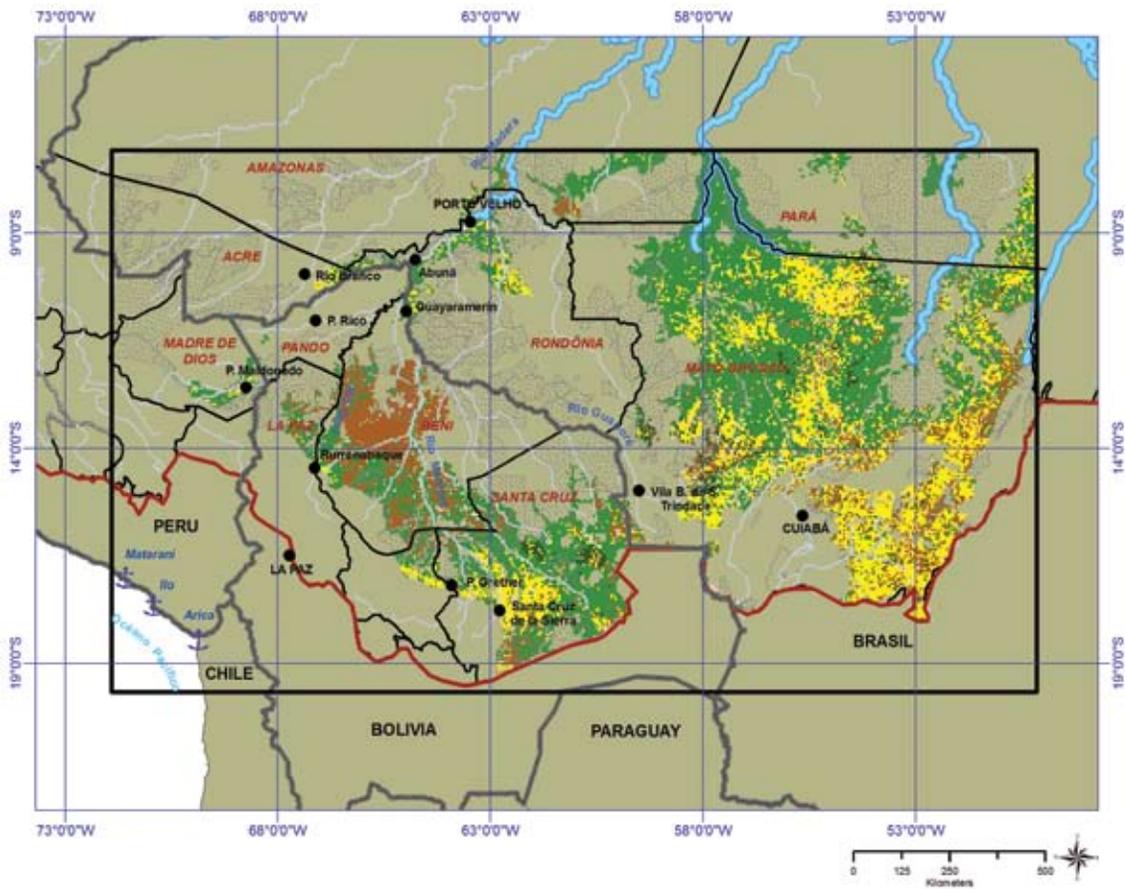


GRÁFICO 5 - INCREMENTO DE ÁREA ATRACTIVA PARA EL CULTIVO DE LA SOJA BAJO EL ESCENARIO XI

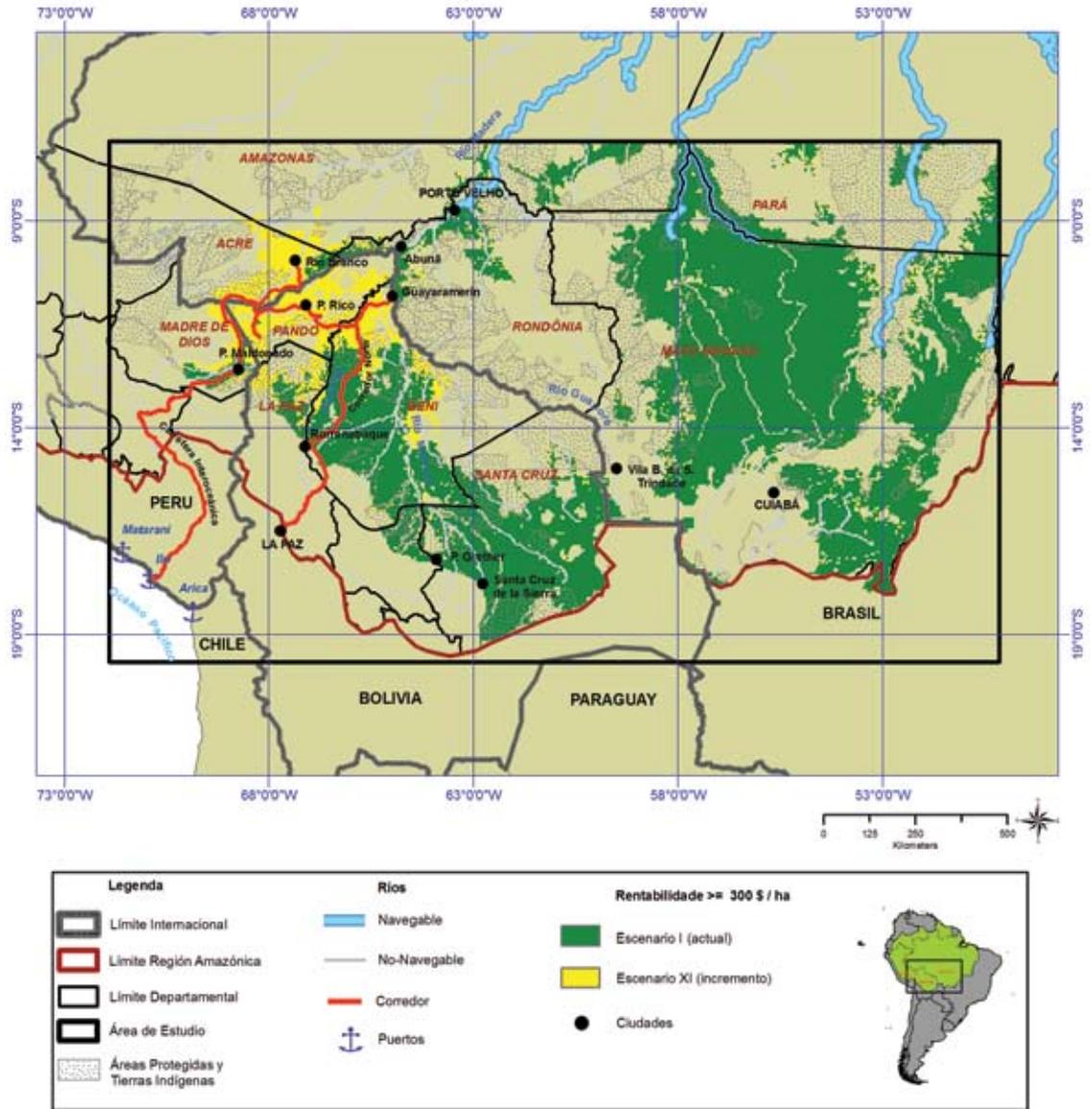
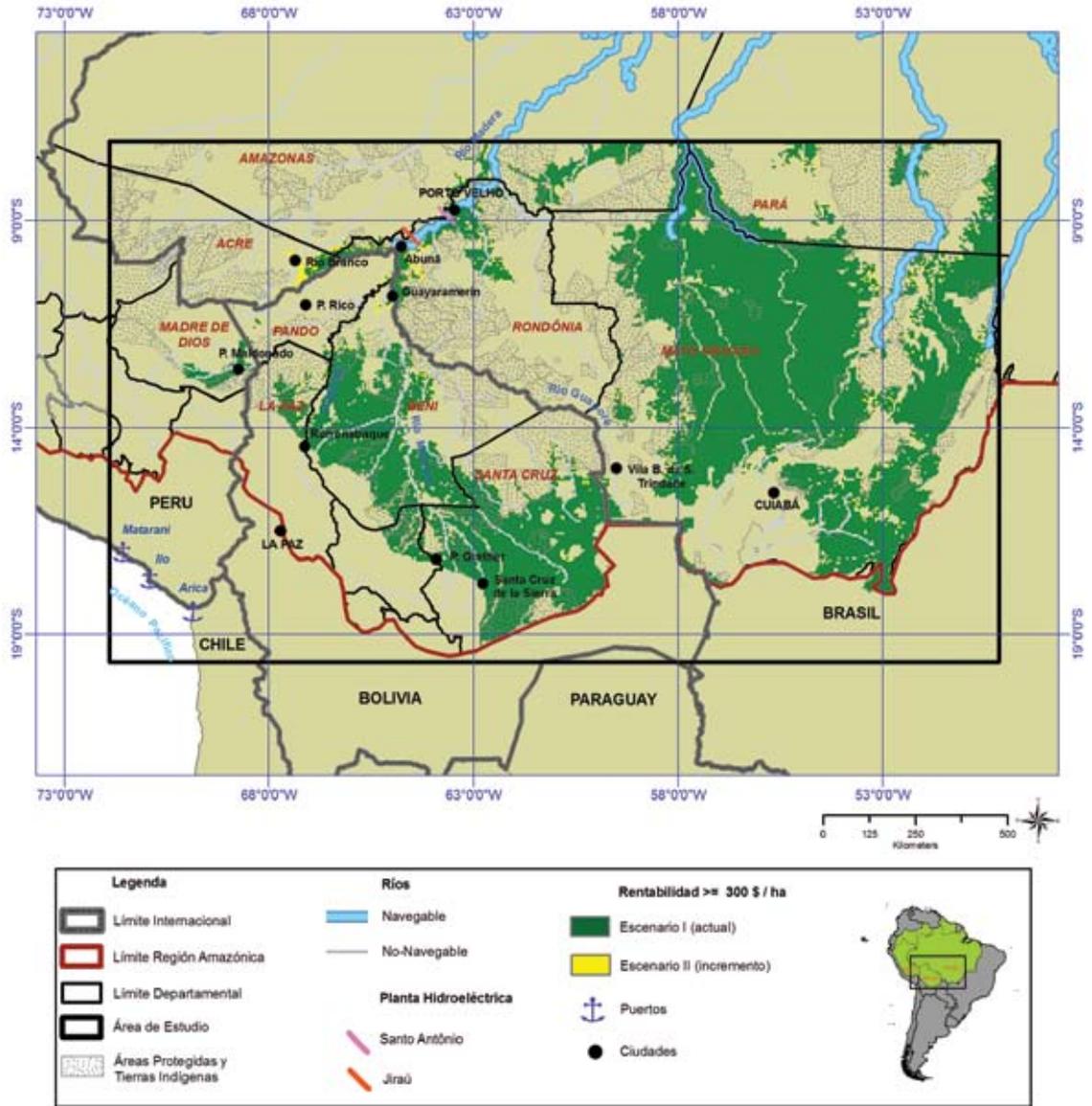


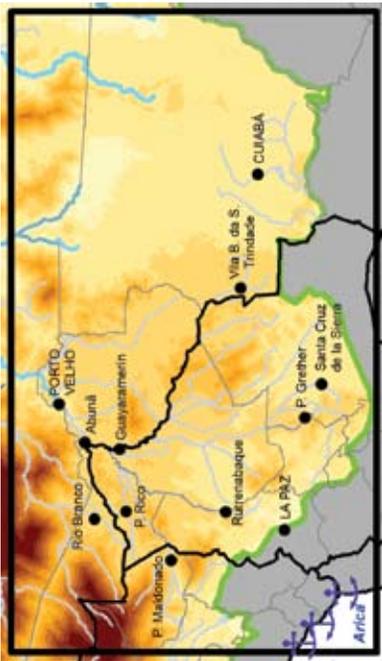
GRÁFICO 6 - INCREMENTO DE ÁREA ATRACTIVA PARA EL CULTIVO DE LA SOJA BAJO EL ESCENARIO II



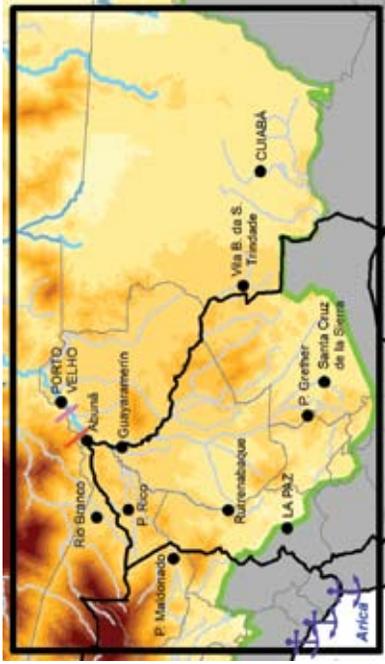
{ Anexos

ANEXO 1 - ESCENARIOS DE COSTOS DE TRANSPORTE DE LA SOJA (US\$/TON)

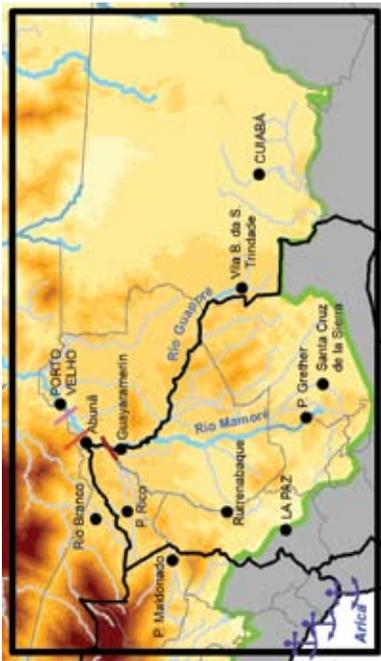
ESCENARIO I (ACTUAL)



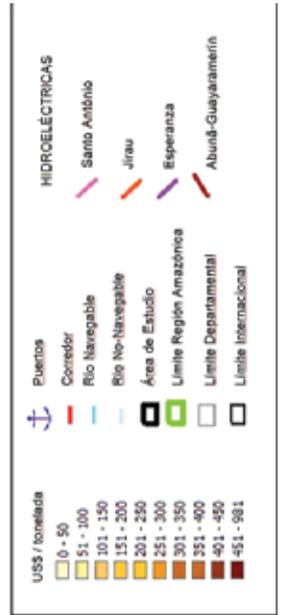
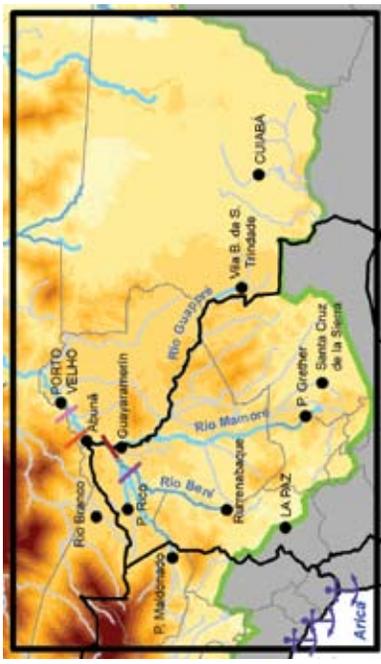
ESCENARIO II



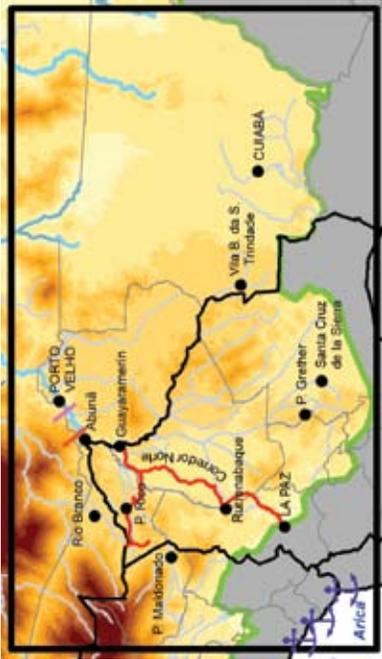
ESCENARIO III



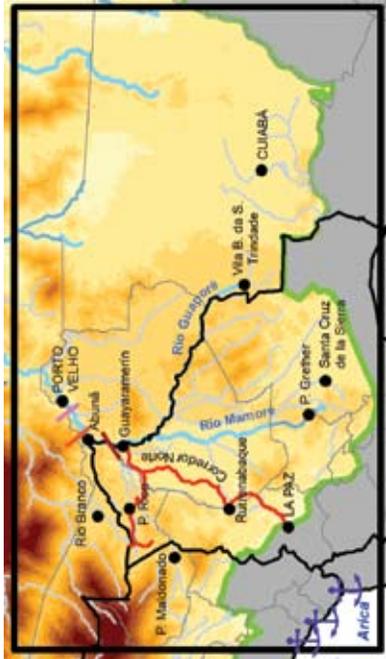
ESCENARIO IV



ESCENARIO V



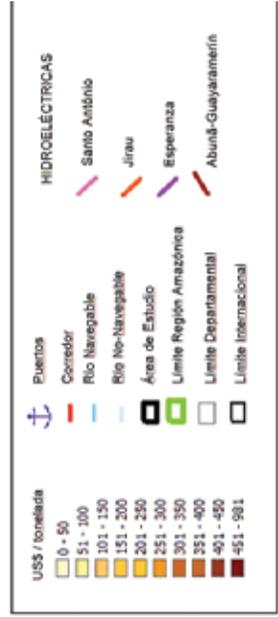
ESCENARIO VI



ESCENARIO VII



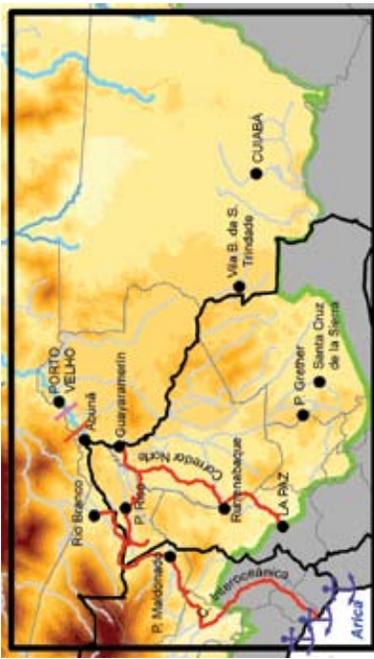
ESCENARIO VIII



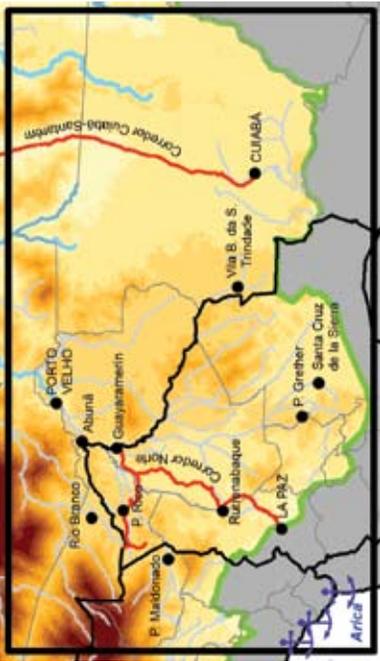
ESCENARIO X



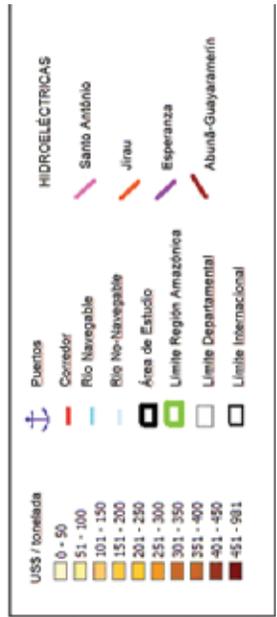
ESCENARIO XII



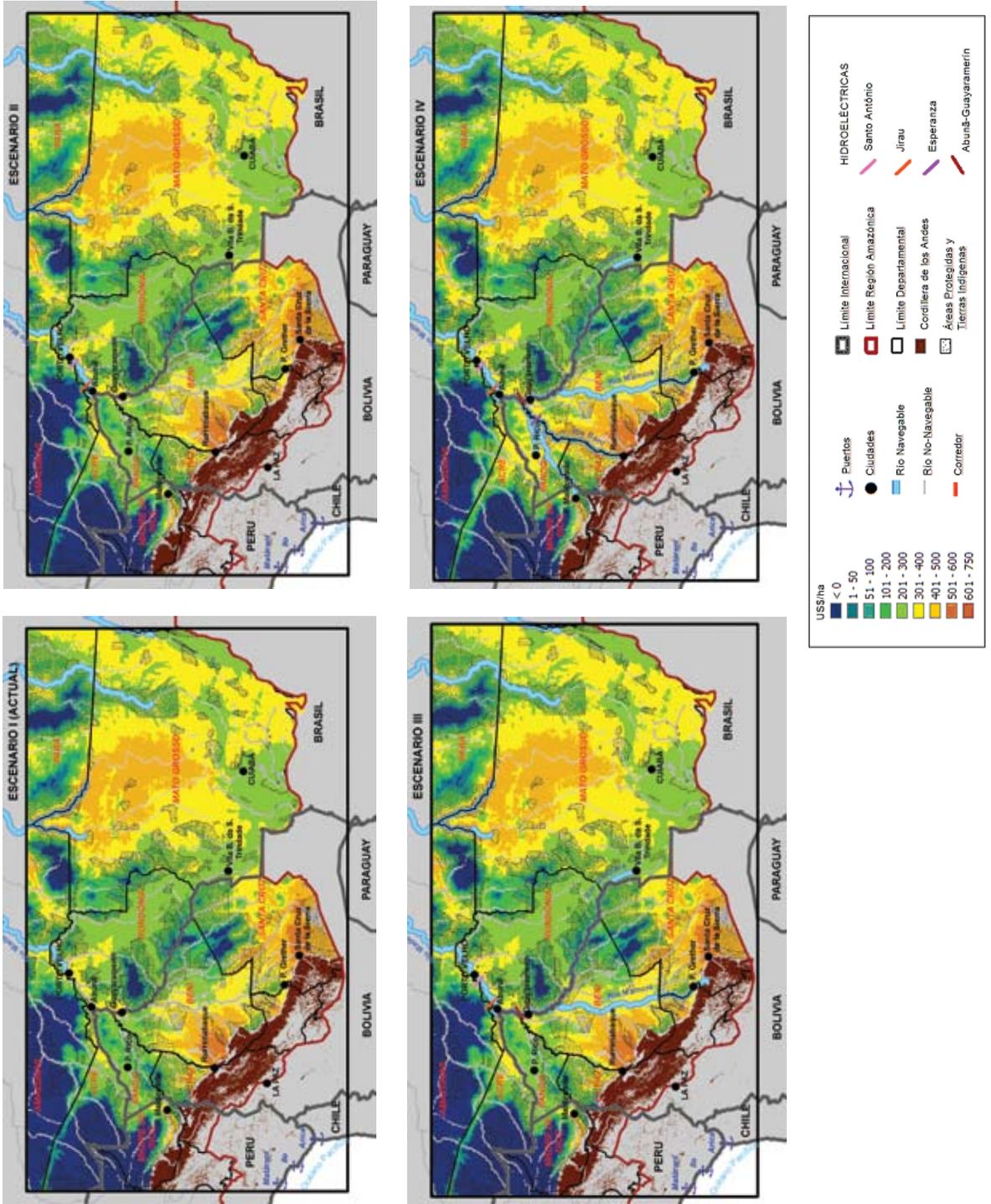
ESCENARIO IX

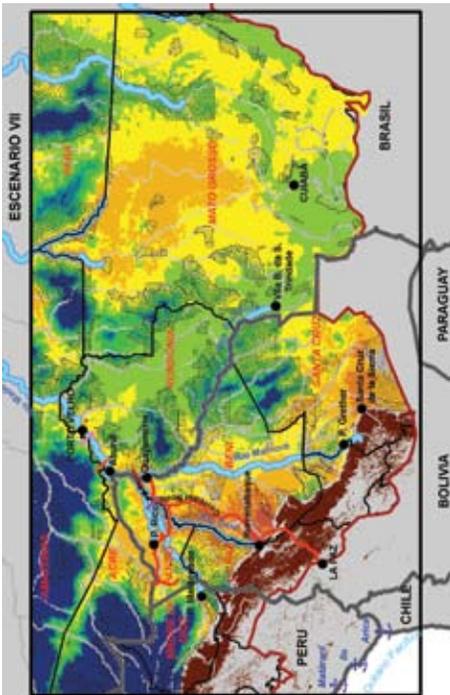
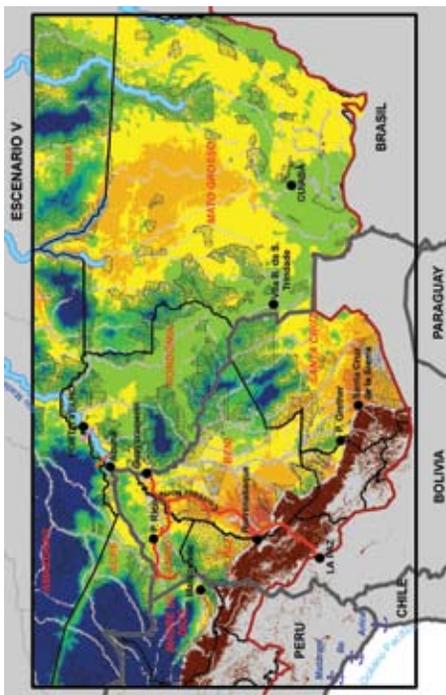
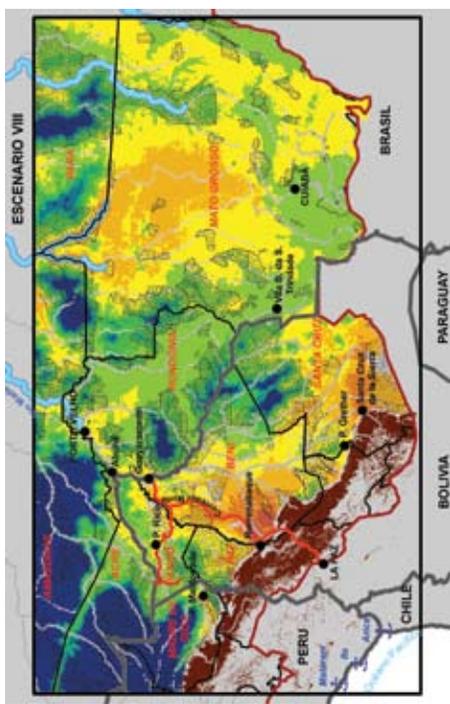
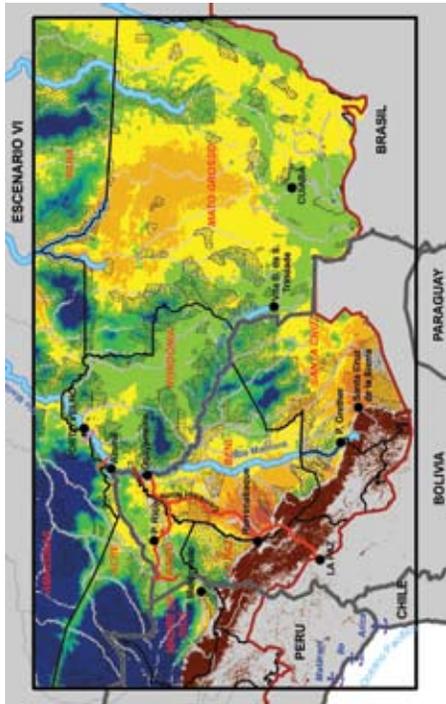


ESCENARIO XI



ANEXO 2 - ESCENARIOS DE RENTABILIDAD DE LA SOJA (US\$/HA)





Serie Técnica

Edición 1 - Análise de viabilidade sócio-econômico-ambiental da transposição de águas da bacia do Rio Tocantins para o Rio São Francisco na região do Jalapão/TO (2002)

fani mamede, paulo garcia y wilson cabral de souza júnior

Edición 2 - Valoração econômica do Parque Estadual Morro do Diabo (SP) (2003)

cristina adams, cristina aznar, ronaldo seroa da motta, ramón ortiz y john reid

Edición 3 - A pavimentação da BR-163 e os desafios à sustentabilidade: uma análise econômica, social e ambiental (2005)

ane alencar, laurent micol, john reid, marcos amend, marília oliveira, vivian zeideman y wilson cabral de souza júnior.

Edición 4 - Custos e benefícios do complexo hidrelétrico de Belo Monte (2006)

wilson cabral de souza júnior, john reid y neidja cristiane silvestre leitão

Edición 5 - Beneficios económicos regionales generados por la conservación: el caso del Madidi (2006)

leonardo c. fleck, marcos amend, lilian paintere y john reid

Edición 6 - Una carretera a través del Madidi: un análisis económico-ambiental (2006)

leonardo c. fleck, lilian painter, john reid y marcos amend

Edición extra - Análisis de costo beneficio de cuatro proyectos hidroeléctricos en la cuenca Changuinola-Teribe (2006)

sarah cordero, ricardo montenegro, maribel mafla, irene burgués y john reid

Edición 7 - Efeitos de projetos de infra-estrutura de energia e transportes sobre a expansão da soja na bacia do rio Madeira (2007)

maria del carmen vera-díaz, john reid, britaldo soares filho, robert kaufmann y leonardo fleck

Edición 8 - Análisis económico y ambiental de carreteras propuestas dentro de la Reserva de la Biosfera Maya (2007)

víctor hugo ramos, irene burgués, leonardo c. fleck, byron castellanos, carlos albacete, gerardo paiz, piedad espinosa y john reid

Edición 9 - Análisis ambiental y económico de proyectos carreteros en la Selva Maya, un estudio a escala regional (2007)

dalia amor conde, irene burgués, leonardo fleck, carlos manterota y john reid

Edición 10 - Tenosique: Análisis económico-ambiental de un proyecto hidroeléctrico en el Río Usumacinta (2007)

israel amescua, gerardo carreón, javier marquez, rosa maría vidal, irene burgués, sarah cordero y john reid

REALIZACIÓN



APOYO

