



PERÚ

Ministerio de Agricultura

Dirección General
Forestal y de
Fauna Silvestre



PROYECTO

Gestión Forestal Sostenible y Aprovechamiento de los Servicios Ecosistémicos en los Bosques Administrados por la Comunidad Nativa Ese Eja de Infierno, Perú



ESTIMACION DE LOS CAMBIOS EN EL CARBONO ALMACENADO Y EMISIONES DE GASES EFECTO INVERNADERO PRODUCIDAS POR DEFORESTACION NO PLANIFICADA EN ESCENARIO DE LINEA BASE DE LA COMUNIDAD NATIVA DE INFIERNO – REGIÓN MADRE DE DIOS

Puerto Maldonado-Madre de Dios 2012

CONTENIDOS

Introducción	3
I. Metodología	4
1. Definición de límites	4
2. Estimación de áreas anuales de deforestación no planificada	15
3. Localización y cuantificación de la amenaza de deforestación no planificada	52
4. Estimación de cambios en el carbono almacenado y emisiones de GEI.....	66

INTRODUCCION

La “línea de base” o escenario de referencia es una parte esencial de cualquier régimen dirigido a REDD, puesto que proporciona la referencia necesaria frente a la cual se evalúa la reducción de emisiones por deforestación y degradación. Para estimar la línea base o el escenario de referencia para REDD se deben considerar dos aspectos al momento del análisis: la dimensión temporal y la escala.

Históricamente, Madre de Dios ha sido una región con bajas tasas de deforestación, debido a su aislamiento del resto del país. Actualmente, con la pavimentación de la carretera interoceánica, que conectará Brasil con los puertos del océano Pacífico, los tiempos y costos de transporte han disminuido significativamente. Debido a esto, es probable que se generen otras actividades, por considerarse más rentables en la nueva situación, y con ello se producirán nuevos costos de oportunidad para el cambio de uso del suelo. Por ello la dimensión temporal de la línea base más probable se construyó con una combinación de las tendencias pasadas y futuras de deforestación.

La Región de referencia determinada para el proyecto REDD está conformada por el Buffer al total de las vías; esta región de referencia ocupa un área de 5 638 200,91 ha.

Este documento fue elaborado en base al módulo metodológico REDD “Estimación de los cambios en el carbono almacenado y emisiones de GEI por deforestación no planificada en el escenario de línea base” (BL-UP) Versión 1.0

I. METODOLOGIA

Parte 1: DEFINICIÓN DE LIMITES

1.1 DEFINICIÓN DE LOS LÍMITES ESPACIALES DEL DOMINIO ANALÍTICO.

Los límites de las áreas cumplen con la metodología y sus características, siendo definidas por:

1.1.1 Región de referencia

La región de referencia para el área del proyecto se determinó usando una combinación de similitud de los tipos de bosque, los impactos de deforestación, tipos de suelo, clases de pendiente, y cinturones de elevación.

El análisis de los tipos de estratos dentro del cinturón de fugas y el área del proyecto se llevó a cabo mediante un archivo de forma que contiene el tipo de vegetación y fisiografía para toda el área del proyecto y el cinturón de fugas. Los diferentes estratos se pueden observar en la tabla 1.

Tabla 1. Estratos del área del proyecto y cinturón de fugas

Estratos
Actividad agropecuaria / bosque secundario
Aguajal mixto
Aluvial inundable
Deforestación
Ríos
Terraza baja
Terraza disectada suave

La observación de impactos de deforestación en áreas similares más lejanas ayudó para determinar los límites de la región de referencia del modelo. Se han observado los efectos de la extracción de madera a través de ríos y caminos forestales que ocurren desde las carreteras principales hasta 50 km de distancia a partir de ellas (Dorojeanni 2006), así como de caminos secundarios (Delgado 2008) en la Amazonía peruana. Esta distancia considerada es constante a nivel regional, tal como lo señalan Brandão, citado por Fleck *et al.* (2010), en su estudio sobre la deforestación y las carreteras no oficiales en el Amazonas, donde indica que casi toda la deforestación que ocurre en el estado de Amazonas, en Brasil, está concentrada en un buffer de 50 km a partir de la red de carreteras que abarcan una superficie de 241 000 km.

Por consiguiente se escogió una zona Buffer de 50 km, partiendo de caminos existentes, como la posición para la región de referencia del modelo de deforestación. El buffer fue creado dentro del límite del mapa oficial de la Región Madre de Dios y las redes de carreteras que han sido actualizadas por la Asociación la Conservación de la Cuenca Amazónica (ACCA) en el año 2007.

Madre de Dios tiene una superficie total de 8 504 586,57 hectáreas, mientras que la red secundaria de carreteras tiene una longitud de 3 134,61 kilómetros de acuerdo a las actualizaciones hechas por ACCA. El área del Buffer es 5 638 200,91 hectáreas. Véase la figura 2.

1.1.1.1 Región de referencia para proyectar la tasa de Deforestación (RRD).

La región de referencia para proyectar la tasa de deforestación se determinó usando una combinación de similitud de los tipos de bosque, los impactos de deforestación, tipos de suelo, las clases de pendiente, cinturones de elevación y acceso a mercados, lo cual es vital para la elaboración de la tasa dinámica.

El área es igual a la Región de referencia.

a. Principales Agentes de Deforestación

El principal agente de deforestación es el tipo de suelo que existe en la zona del proyecto; se ha encontrado que los suelos son adecuados para las prácticas agrícolas, actividades de extracción minera y otras. Los suelos que están presentes en la región de referencia y en cada una de las zonas del proyecto se pueden observar en la tabla 2.

Tabla 2. Tipos de suelos de la región de referencia

Región de Referencia - Tipos de Suelo
Asociación Prot.-Forestal. Calidad agrológica media
Asociación Prot.-Forestal-Cultivo en limpio, límite inundación. Calidad agrológica baja
Asociación Prot.-Pastos-Forestal, erosión-suelo. Calidad agrológica media-alta
Cuerpos de agua
Tierra apta para cultivo en limpio (intensivo-arable), suelo-clima. Calidad agrológica media-Tierras aptas para cultivos permanentes, Erosión
Tierra apta para pastos, suelo. Calidad agrológica media Tierras aptas para cultivos permanentes, suelo. Calidad agrológica media.
Tierra apta para pastos, suelo. Calidad agrológica media Tierras aptas para producción forestal, erosión. Calidad agrológica media.
Tierra apta para producción forestal, drenaje. Calidad agrológica baja.
Tierra apta para producción forestal, erosión. Calidad agrológica alta.
Tierra apta para producción forestal, erosión. Calidad agrológica media-Tierras de protección.
Tierras de protección

b. Factores del Paisaje

El factor del paisaje utilizado para la región de referencia se basó en la pendiente del terreno. La pendiente para la región de referencia y el área del proyecto se calculó mediante una Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) 30-meter

resolution digital elevation model (DEM) construido a partir de “tiles” desarrollado para un global DEM y lanzado por la NASA a través de su Galería de inventario herramienta de búsqueda en la página <https://wist.echo.nasa.gov/~wist/api/imswelcome/>.

La mayoría de la región de referencia y el área del proyecto tienen un terreno con pendiente inferior al 15 %.

c. Redes de Transporte e Infraestructura Humana

Para este punto se tomó en cuenta la red vial dentro de la Región de Referencia y en el Área del Proyecto, que cubre gran parte de la carretera Puente Inambari – Puerto Maldonado – Iberia – Iñapari, la cual constituye la vía principal de integración de Madre de Dios, y sirve de enlace a las provincias de Tahuamanu y Tambopata; su complementariedad con el Corredor Interoceánico del sur, además de facilitar el desarrollo en la Región de referencia y el Área del Proyecto, le permite a nivel nacional proyectarse con el mercado Brasileño. Figura 3

d. Factores Sociales

Uno de los factores sociales para la actual deforestación dentro de la región de referencia es que, en la actualidad, se estima una población de 12 000 personas dedicadas directamente a la actividad minera en la Región Madre de Dios (aproximadamente el 30% son mineros informales) y aproximadamente 30 000 personas dependen indirectamente de ella a través de actividades colaterales.

También se toma en cuenta la contaminación generada por el uso de mercurio dentro del proceso de recuperación del oro metálico, por el vertimiento de sólidos en suspensión en determinados cursos de agua, por el vertimiento de residuos de amalgamación al medio ambiente (cursos de agua y terrenos superficiales), y la perturbación de suelos y deforestación originada por los métodos de explotación utilizados sin criterio técnico y sin aplicación de técnicas tendientes a su recomposición.

e. Políticas y Reglamentaciones

Dentro del escenario de referencia, existen diferentes tipos de políticas y reglamentaciones, ya que el uso del territorio tiene muchas variaciones; esto se pondrá en evidencia en la parte 3 con todos los agentes de deforestación, pero la principal fuente de reglamentación del área depende del ordenamiento territorial, que conduce a la ocupación ordenada y al uso sostenible de sus recursos naturales, generando menos pobreza y menos problemas ambientales que comprometerían a las generaciones futuras de la Región Madre de Dios. En tal sentido, y con el propósito central de proporcionar un instrumento para la adecuada gestión del territorio, tanto del sector público como privado, orientado al uso sostenible del territorio y sus recursos naturales de acuerdo a sus potencialidades y limitaciones, se tiene una delimitación de ciertas áreas de acuerdo a la Zonificación Ecológica Económica (ZEE).

f. Exclusión de la Deforestación Planificada

Debido a la heterogeneidad de la Región de Referencia, no existen estudios que determinen área de deforestación planificada, debido a que los límites de ciertas ocupaciones ya están definidos por el uso actual del territorio.

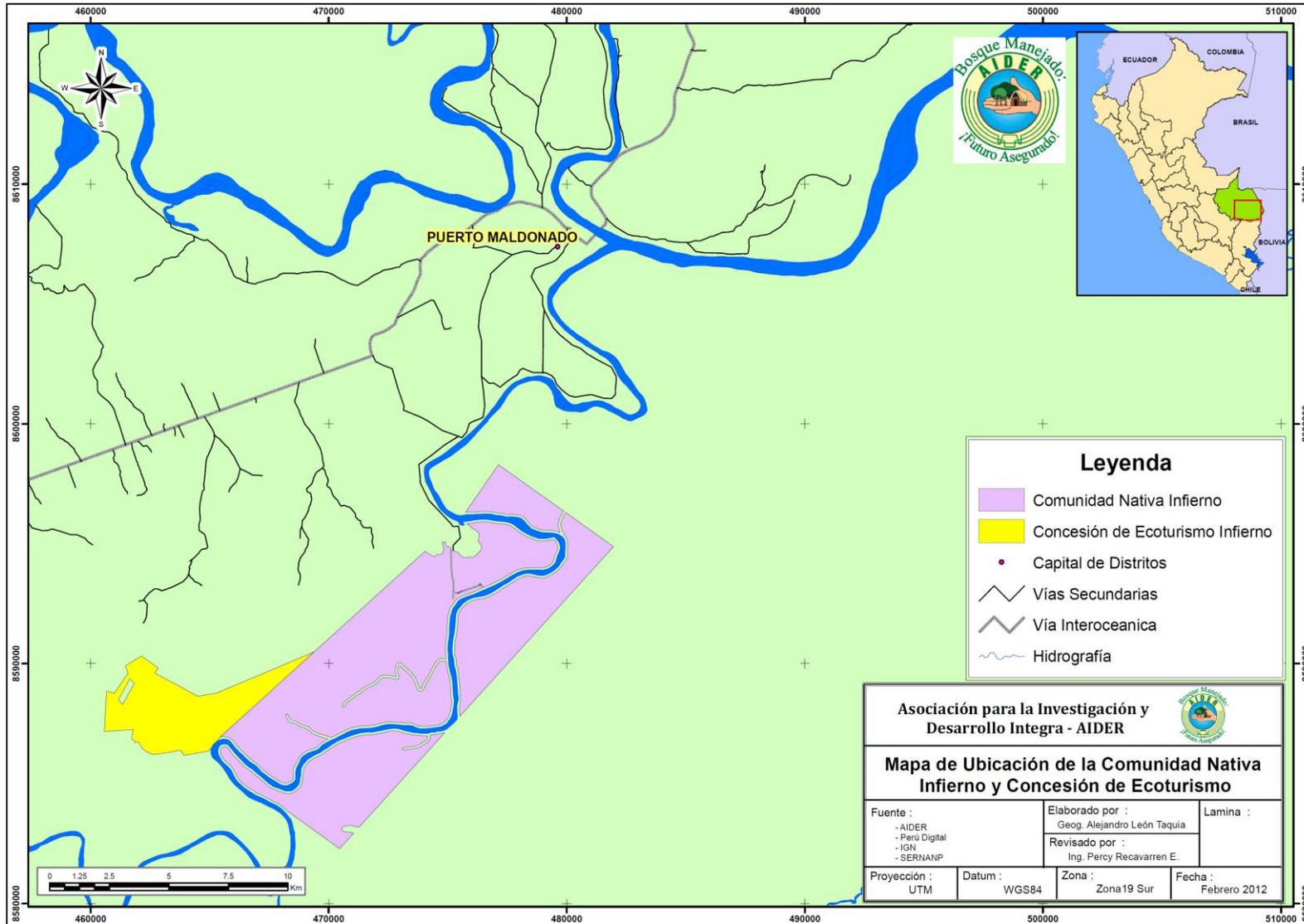
1.1.1.2 Región de referencia para proyectar la localización de Deforestación (RRL).

La región de referencia para proyectar la localización de la Deforestación se determinó usando una combinación de similitud de los tipos de bosque, los impactos de deforestación, tipos de suelo, las clases de pendiente, cinturones de elevación, accesos a mercados y por la presencia de los fundamentales Agentes de Deforestación. El área es igual a la región de Referencia y Región de referencia para proyectar la tasa de deforestación. Véase la figura 2.

- **Área del proyecto**

La Comunidad nativa de Infierno y su área de concesión de ecoturismo (Madre de Dios) conforman el Área del Proyecto dentro de la Región de referencia. El Área del Proyecto se encuentra localizada en la parte suroeste de la Región de referencia (ver figura 4). Vale la pena señalar que el área del proyecto está incluida en el modelo como conductor espacial, por lo que es importante en cuanto a la ubicación de la deforestación, pero que no juega otro papel en el desempeño del modelo. El área del proyecto REDD está conformada por 8 648,79 ha.

Esta información en formato SIG se adjunta en “Geodatabase_Shapefiles_ABRIR CON arcGIS/Cobertura_base/Region_de_referencia”, “Geodatabase_Shapefiles_ABRIR CON arcGIS/Driver_modelacion/ Vias_Secundarias_1999, 2007”.



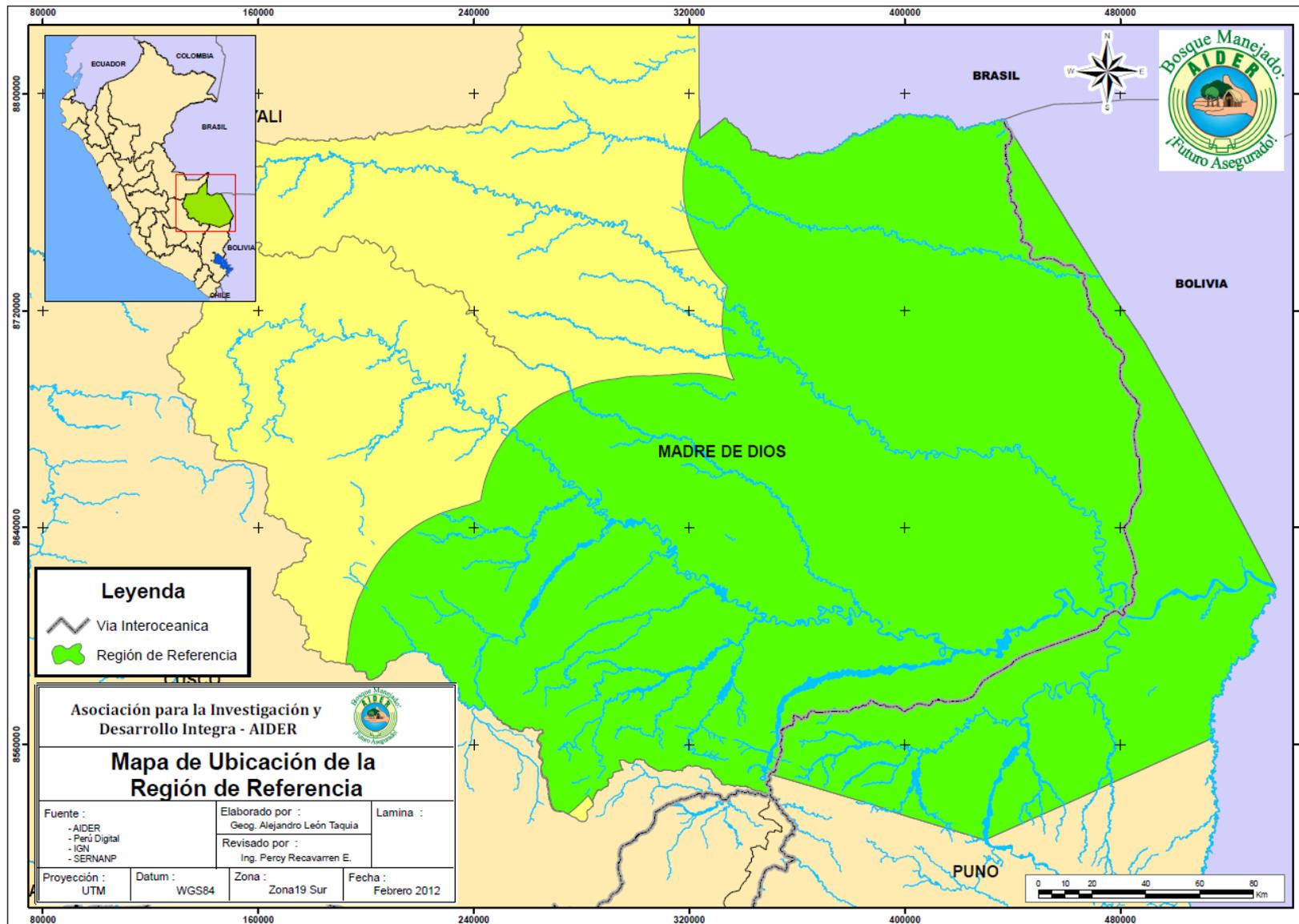


Figura 2. Mapa de la Región de Referencia según el Buffer de 50 kilómetros



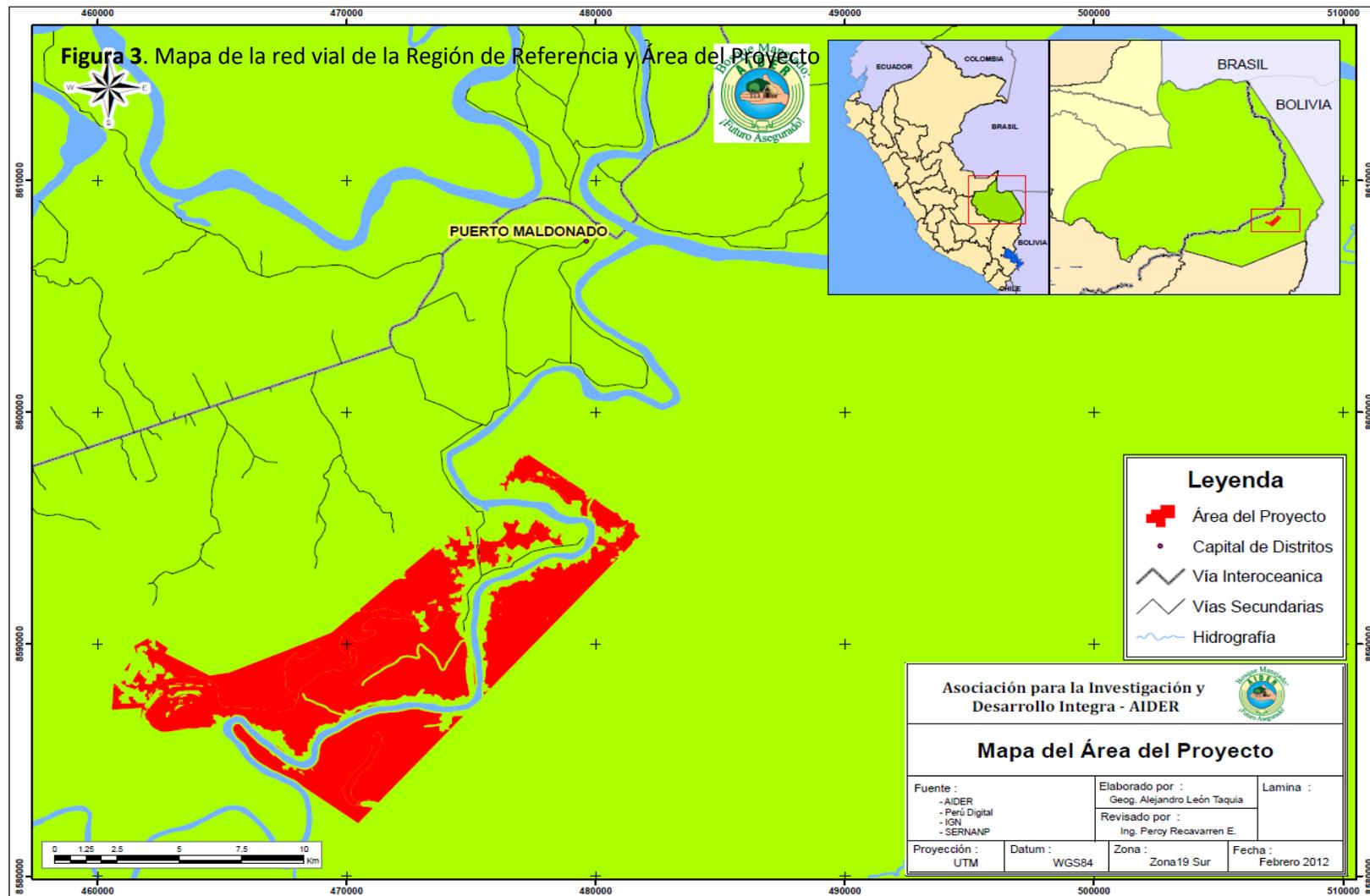


Figura 4. Mapa del Área del Proyecto

- **Cinturón de fugas**

Siguiendo el módulo metodológico “*Estimation of emissions from activity shifting for avoided unplanned deforestation*” (LK-ASU) se ha definido el cinturón de fugas del proyecto, en el cual habitan poblaciones tanto colonas como residentes y se encuentran diferentes tipos de uso del suelo, como concesiones mineras, concesiones de reforestación, concesiones de castaña, concesiones de ecoturismo, predios titulados, concesión de conservación y Comunidades Nativas. El cinturón de fugas ocupa **7,830.92 ha**. Ver figura 5.

- El cinturón de fugas se encuentra ubicado contiguamente al área del proyecto cumpliendo con los requerimientos mínimos.
- Dentro del cinturón de fugas se encuentran ubicados los principales agentes de deforestación, como vías, centros poblados, mercados, tipos y uso de tierras, etc.
- El cinturón de fugas no se encuentra sesgado espacialmente al área del Proyecto.
- Los Factores del paisaje fueron determinados de acuerdo al conjunto de datos espaciales y a los estratos que se pueden apreciar en la tabla 3.

Tabla 3. Tipos de Estratos del Cinturón de Fugas

Estrato	Hectáreas
Aluvial inundable	1,454.84
Deforestación	1,421.40
Ríos	243.96
Terraza baja	1,581.20
Terraza disectada suave	3,129.53
TOTAL	7,830.92

- Los Factores de transporte cumplen con las condiciones debido a que el cinturón de fugas intercepta el principal eje vial, la vía Interoceánica Sur, que une el departamento de Madre de Dios con Cuzco, así como las vías secundarias que las unen a varios centros poblados ubicados dentro del cinturón de fugas.
- El cinturón de fugas se encuentra delimitado por el límite político departamental del Perú, perteneciendo sólo a un departamento; asimismo, se encuentra ubicado dentro de los límites del país. Esto se puede corroborar en el archivo “Geodatabase_Shapefiles_ABRIR CON arcGIS/Cobertura_Base/ Cinturon_de_Fugas”.

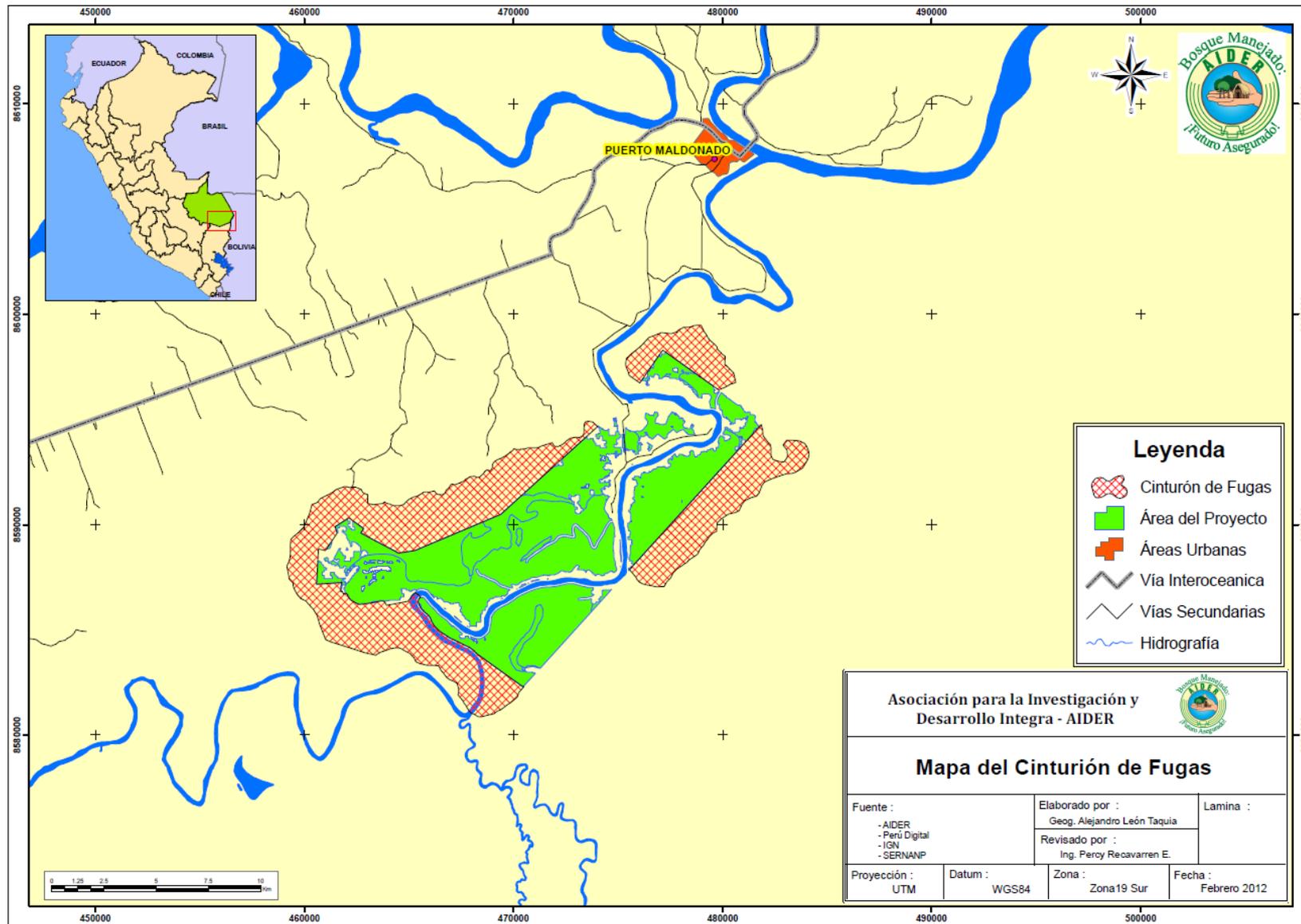


Figura 5. Mapa del Cinturón de Fugas

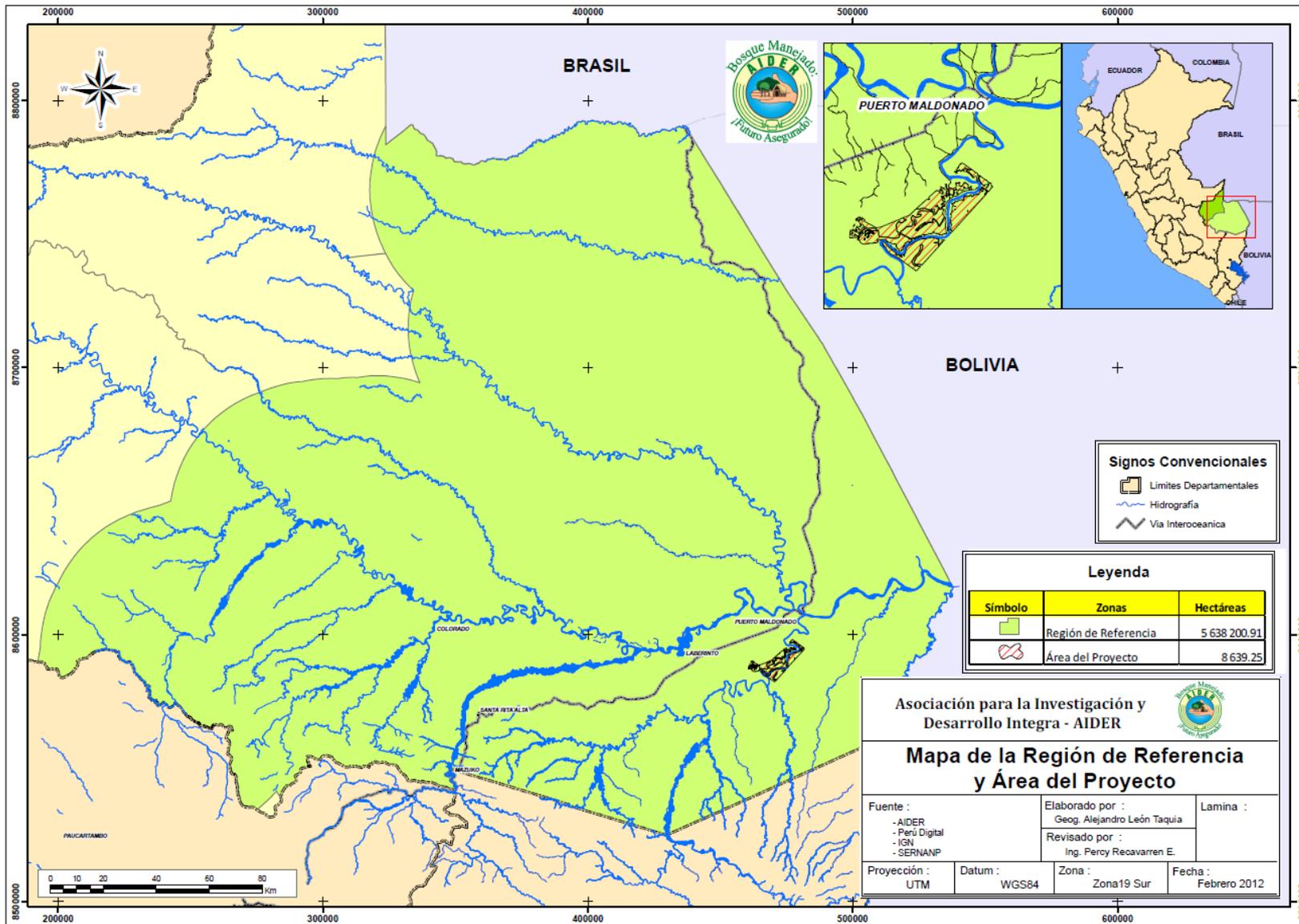


Figura 6. Mapa de la región de referencia y área del proyecto

1.2 LIMITES TEMPORALES

- **Fecha de inicio y término en el periodo histórico de referencia.**

El análisis histórico del proyecto es del 2000 al 2008.

- **Periodo crediticio del proyecto.**

20 años (01 de julio de 2012 – 30 de junio de 2032).

- **Primer periodo de cuantificación de reducciones de emisiones de GEI**

10 años (01 de julio de 2012 – 30 de junio de 2022)

- **Fecha en la cual la línea base del proyecto será revisada**

Revisión de la línea base: 2022, 2032.

Parte 2: ESTIMACION DE AREAS ANUALES DE DEFORESTACIÓN NO PLANIFICADA

2.1 ANALISIS DE DEFORESTACIÓN HISTORICA

2.1.1 Colección de fuentes apropiadas de datos

En el documento de la memoria descriptiva del procedimiento metodológico del “Mapeo de la deforestación del departamento de Madre de Dios” elaborado por el Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana – IIAP (2011) se afirma lo siguiente:

Las imágenes satelitales utilizadas son las del sensor Landsat, que tienen un tamaño de píxel de 30x30 metros; esto posibilita distinguir las áreas de bosque de aquellas en las cuales la cobertura ha sido eliminada.

La búsqueda de imágenes de satélite se hizo en diferentes proveedores, siendo las más adecuadas para el análisis y evaluación las imágenes del Satélite Landsat 5 que provee datos con el sensor TM. La posibilidad de interpretar y analizar datos de recursos naturales hizo que se utilizara este tipo de imágenes, pues son sus características espaciales, espectrales, radiométricas y temporales las que permiten observar y discriminar las particularidades del territorio respecto al cambio de uso de la tierra de bosque a no bosque, principalmente. Algunas características del rango espectral que permite diferenciar zonas sin cobertura arbórea se pueden observar en la siguiente tabla 4.

Tabla 4. Principales características y aplicaciones de las bandas espectrales del satélite Landsat TM y ETM+

Band del espectro	Rango del Espectro Electromagnético (μm)	Resolución espacial (m)	Características de la Banda espectral
			Azul: Presenta gran penetración en cuerpos de agua, con elevada transparencia, permitiendo estudios batimétrico. Sufre absorción por la clorofila y pigmentos fotosintéticos auxiliares

Band del espectro	Rango del Espectro Electromagnético (μm)	Resolución espacial (m)	Características de la Banda espectral
1 Visible -Azul	0,45 a 0,52	30	(carotenoides). Presenta sensibilidad a nubes de humo provenientes de quemas o actividad industrial. Puede presentar atenuaciones por la atmósfera. Usada para el mapeo de aguas costeras, diferenciando entre suelo y vegetación, mapeo de tipos de forestación o agricultura.
2 Visible - Verde	0,53 a 0,61	30	Verde: Presenta gran sensibilidad a la presencia de sedimentos en suspensión, posibilitando su análisis en términos de cantidad y calidad. Buena penetración en cuerpos de agua. También es usada para la identificación de centros poblados.
3 Visible - Rojo	0,63 a 0,69	30	Rojo: La vegetación, densa y uniforme, presenta una absorción quedando oscura, permitiendo buen contraste entre las áreas ocupadas con vegetación (Ej. Suelo expuesto y áreas urbanas). Presenta buen contraste entre diferentes tipos de cobertura vegetal (Ej. Campo cerrado y bosque). Permite análisis de la variación litológica en regiones con poca cobertura vegetal. Permite el mapeo del drenaje a través de la visualización del bosque de galería y de los cursos de los ríos en regiones con poca cobertura vegetal. Es la banda más utilizada para delimitar las áreas urbanas, incluyendo la identificación de nuevos lotes. Permite la identificación de áreas agrícolas, inclusive.
4 Infrarrojo cercano	0,78 a 0,90	30	Infrarrojo reflectivo: Los cuerpos de agua absorben mucha energía en ésta banda y quedan oscuros, permitiendo el mapeo de la red de drenaje y delineamiento de los cuerpos de agua. La vegetación verde, densa y uniforme, refleja mucha energía en ésta banda, apareciendo bien claras en las imágenes. Presenta sensibilidad a la morfología del terreno, permitiendo la obtención de información sobre Geomorfología, Geología y Suelos. Sirve para el análisis y mapeo de facciones geológicas y estructurales. Sirve para mapear áreas ocupadas con vegetación que fueron quemadas. Permite la visualización de áreas ocupadas con macrófitas acuáticas. Permite la identificación de las áreas agrícolas. Determina cantidad de biomasa presente en un área, enfatiza el contraste de zonas de agua-tierra, suelo-vegetación.
5			Infrarrojo medio: Presenta sensibilidad a la humedad de las plantas, sirviendo para observar estrés en la vegetación, causado por el desequilibrio hídrico. Esta banda sufre perturbaciones en caso de ocurrir excesos de lluvia antes de la obtención de la escena por el satélite. Es sensible a la cantidad

Band del espectro	Rango del Espectro Electromagnético (μm)	Resolución espacial (m)	Características de la Banda espectral
Infrarrojo medio	1,55 a 1,75	30	de agua en las plantas usadas en el análisis de las mismas, tanto en época de sequía como cuando es saludable.
6 Infrarrojo termal	10,4 a 12,5	60	Infrarrojo termal: Presenta sensibilidad a los fenómenos relativos a los contrastes térmicos, sirviendo para detectar propiedades termales de rocas, suelos, vegetación y agua. Puede discriminar vegetación que se encuentra enferma, intensidad de calor, aplicaciones de insecticidas y localización de contaminación termal, geotermal y volcánica.
7 Infrarrojo medio	2,08 a 2,35	30	Infrarrojo medio: Presenta sensibilidad a la morfología del terreno, permitiendo obtener información sobre Geomorfología, Geología, y Suelos. Esta banda sirve para identificar minerales con iones hidrófilos. Potencialmente favorable a la discriminación de productos de alteración hidrotermal. También es importante para la discriminación de tipos de rocas y suelos, así como el contenido de la humedad entre suelo y vegetación.
8 pancromático	0,52 a 0,90	15	Permite ver toda la gama visible y una parte del infrarrojo. De utilidad para fotointerpretación por la resolución espacial que posee.

Fuente IIAP 2011

Después de haber realizado la búsqueda y adquisición de imágenes, se seleccionó un grupo de estas que, por sus características, se consideraron las más adecuadas para su uso en la interpretación visual de los patrones de deforestación y para la elaboración del mosaico de imágenes ver figura 7.

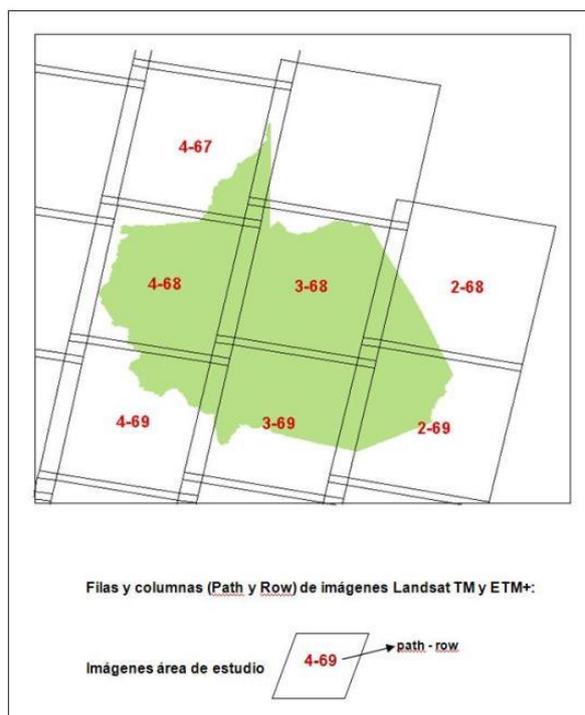
En la tabla 5 se muestra el grupo de imágenes seleccionadas para el estudio; asimismo, en la figura 8 se muestra la Ficha de Evaluación de imágenes de satélite para coberturas de % de Nubes.

Tabla 5. Landsat TM utilizadas en el análisis de la deforestación y % de coberturas de nubes por cuadrantes internos (años: 2000, 2006, 2008 y 2010)

Año	Parth - Row Sensor	Fecha de la Imagen	% Coberturas de nubes por cuadrantes			
			A	B	C	D
2000	P002r068_7t	24/11/2000	0%	10%	0%	0%
	p002r069_5t	27/07/2000	0%	0%	10%	0%
	p003r068_5t	17/08/1999	0%	0%	0%	0%

	p003r069_5t	23/05/2000	0%	0%	5%	5%
	p004r067_5t	29/08/2001	0%	0%	10%	0%
	p004r068_5t	07/07/1999	0%	0%	0%	0%
	p004r069_5t	07/07/1999	10%	10%	20%	10%
2006	p002r068_5t	25/05/2006	0%	0%	0%	0%
	p002r069_5t	13/08/2006	0%	0%	10%	0%
	p003r068_5t	04/08/2006	0%	0%	10%	0%
	p003r069_5t	14/08/2004	0%	0%	10%	10%
	p004r067_5t	23/07/2005	0%	0%	0%	0%
	p004r068_5t	22/09/2004	10%	10%	10%	0%
	p004r069_5t	25/09/2005	90%	60%	20%	10%
2008	p002r068_5t	14/05/2008	0%	0%	0%	0%
	p002r069_5t	14/05/2008	0%	0%	0%	5%
	p003r068_5t	01/09/2008	0%	0%	0%	0%
	p003r069_5t	01/09/2008	0%	0%	10%	10%
	p004r067_5t	01/09/2008	0%	0%	0%	0%
	p004r068_5t	01/09/2008	0%	0%	0%	5%
	p004r069_5t	01/09/2008	60%	15%	15%	30%
2010*	p002r068_5t	24/08/2010	0%	0%	0%	0%
	p002r069_5t	08/08/2010	0%	0%	10%	0%
	p003r068_5t	30/07/2010	0%	0%	10%	0%
	p003r069_5t	03/09/2011	0%	0%	10%	10%
	p004r067_5t	06/08/2010	0%	0%	0%	0%
	p004r068_5t	06/08/2010	0%	0%	10%	10%
	p004r069_5t	02/05/2010	60%	30%	20%	20%

* Las imágenes del año 2010 se utilizaron para la validación final de los resultados de modelación. Fuente IIAP 2011



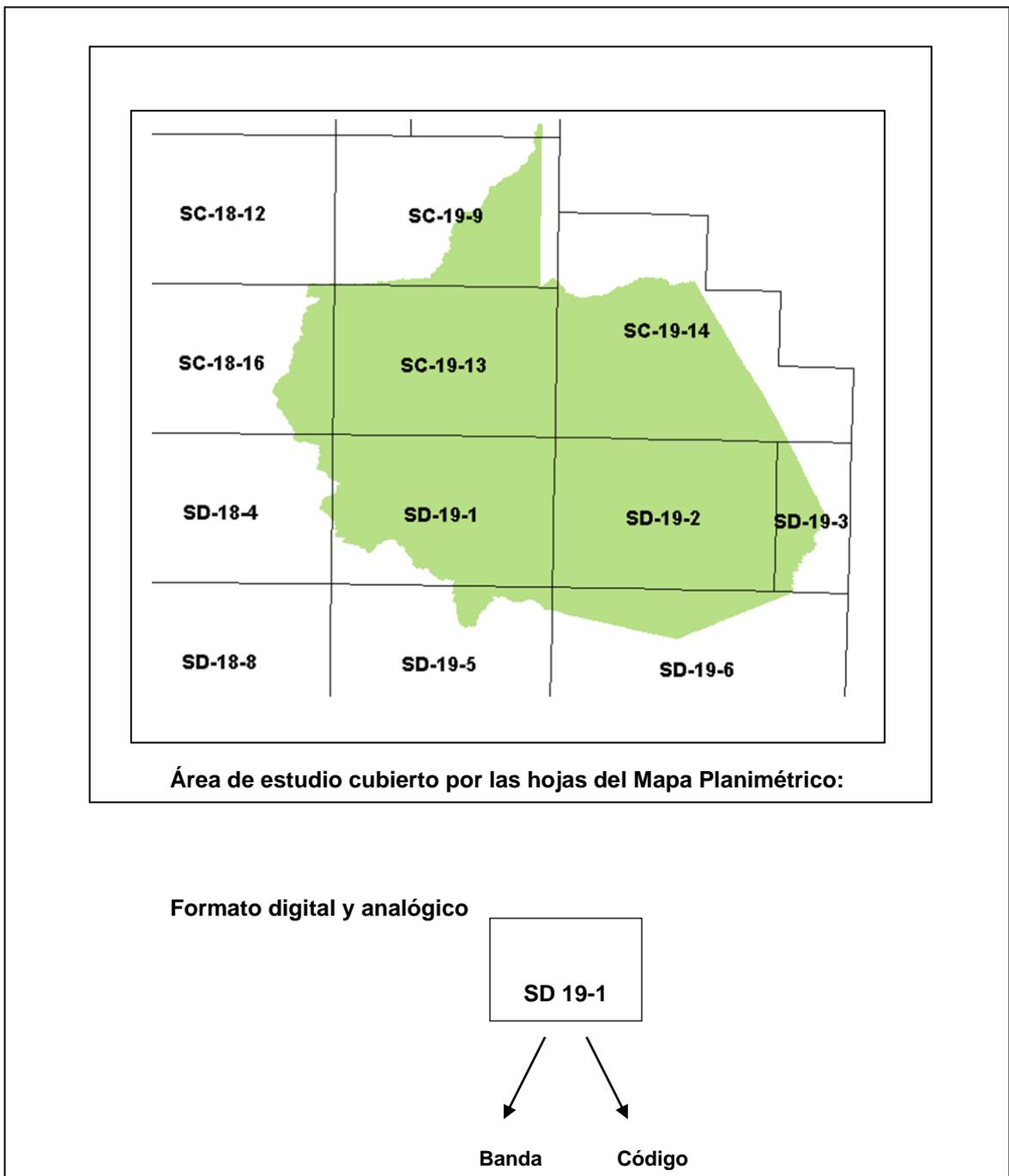


Figura 9. Índice gráfico del Mapa Planímetro utilizado en el proyecto

Cartografía de la deforestación histórica

El Instituto de Investigaciones de la Amazonía peruana (2011) señala lo siguiente:

Este proceso se entiende como aquellas operaciones que permiten mejoras en las imágenes de satélite con la finalidad de realzar su apariencia visual para obtener información útil de las mismas, en este caso el de clasificación de “bosque” y “no bosque”. El proceso metodológico se llevó a cabo con ERDAS IMAGINE v9.2, ArcGIS v9.3 y MapSource v6.02.

Se separó dos grandes grupos o módulos de trabajo según las aplicaciones:
Procesamiento digital de imágenes de satélite (georreferenciación, mejoramiento radiométrico y construcción de mosaicos);

Generación de data vectorial, mediante interpretación visual de patrones de deforestación y uso de la tierra.

Georreferenciación (Corrección geométrica):

El IIAP (2011) señala:

Para este caso en particular se tomó como método de georreferenciación imagen a imagen, caso pues ya se disponía de un mosaico base (año 2006) y es la misma base que se utilizó para los mosaicos del año 2000, y 2010. Nos apoyamos además de la data vectorial del IGN¹ (Carta Nacional 1:100,000) la que sirvió como referencia para hacer la validación de la georreferenciación.

Varios aspectos se consideraron para la ubicación de los GCP² o Puntos de Control Terrestre. A esto se agrega el hecho de que la distribución de los GCPs tuvieron que ser cuidadosamente ubicados teniendo en cuenta que los primeros cinco estuvieran localizados en los extremos y el centro de la imagen (escena) formando una "X" y seguidamente se ubicaban los restantes, siempre tratando de seguir una secuencia. Se los situaron de tal manera que se distribuyeran homogéneamente en toda la imagen.

Se tuvo en cuenta que el RMS (Root Mean Square) o Error Medio Cuadrático sea el menor posible. Este error debe ser mínimo de 1 pixel de lo contrario el desplazamiento de la imagen es evidente al momento de hacer el empalme con otra imagen adyacente.

Generación de data vectorial (interpretación visual de patrones de deforestación y uso de la tierra)

De acuerdo al IIAP (2011):

Se refiere a la observación, análisis y trazado de las características de la superficie terrestre desde el punto de vista del cambio de bosque a no bosque, es decir sobre los patrones de deforestación. La interpretación de la deforestación, en este caso, fue un proceso que se fundamentó en la delimitación y separación de unidades sobre la base de elementos identificables utilizando imágenes de satélite ópticas (Landsat TM) a escala de 1:50,000.

A través del análisis visual y la delineación de las características particulares de deforestación y el tipo de uso de la tierra se consideraron elementos como:

El tono; que nos da una referencia de la intensidad de energía registrada por el sensor en una determinada banda espectral. Cada cubierta que manifiesta un tipo de uso u ocupación presenta determinados tonos según la banda espectral. Para el caso de Landsat son las bandas 3, 4 y 5 las que mejores registran la ausencia de cobertura arbórea. Las tonalidades oscuras se refieren a espacios con mucha humedad o en algunos casos con espacios de quema.

La forma es otro elemento y quizá el más importante para determinar las características que permiten determinar las áreas deforestadas, en especial cuando se quiere diferenciar en estas áreas deforestadas los tipos de uso. Los patrones de formas geométricas relativamente regulares son las más usadas al momento de utilizar la tierra, como cuadrados, rectángulos, triángulos (actividades

¹ Instituto geográfico Nacional

² Group Point Control

agrícolas, pastos, agropecuarias y de construcción de infraestructura como centros urbanos), formas lineales (carreteras), entre otros.

El color también es otro elemento que se toma en cuenta para interpretar la deforestación y los tipos de uso ya que se puede apreciar una diferencia sustancial entre la cobertura vegetal y las zonas que han sido intervenidas. Además, la diferencia de colores es bien marcada cuando se trata de determinar los diferentes estadios vegetativos de la masa forestal. Es decir, las zonas de purmas (bosque secundario) de diferentes fechas y composición de especies es determinada por la diferencia de colores.

La textura; por su parte, es una cualidad que hace referencia a la aparente suavidad o rugosidad de determinadas áreas de la imagen, esto se debe al tamaño de los objetos representados y la resolución espacial de la imagen.

La distribución o contexto espacial es un elemento que difícilmente puede ser abordado por técnicas digitales, es la interpretación visual a través de la experiencia del intérprete que permite la incorporación de estos criterios pues este es un elemento que nos permite tener una idea de la localización de la cubierta de interés en relación con los elementos vecinos visibles en la imagen, es decir permite tener un conocimiento previo de la zona en estudio y de las áreas circundantes. Se puede diferenciar una cubierta de vegetación arbórea con una cubierta donde ya no hay vegetación teniendo como referencia una carretera o como es el caso en Amazonía, la ribera de los ríos.

Otro aspecto de importancia es el periodo de adquisición o fecha de captura de las imágenes. Esto permite tener la observación sistemáticas de los cambios en la superficie terrestre. Para este propósito se ha utilizado imágenes de un solo año.

El procesamiento SIG (digitalización, edición y atribución) se hizo utilizando el programa ArcGIS con su módulo ArcMap. Ver figuras 10, 11, 12 y 13.

Se tuvo que hacer la verificación de campo para tener mayor grado de precisión en los resultados.

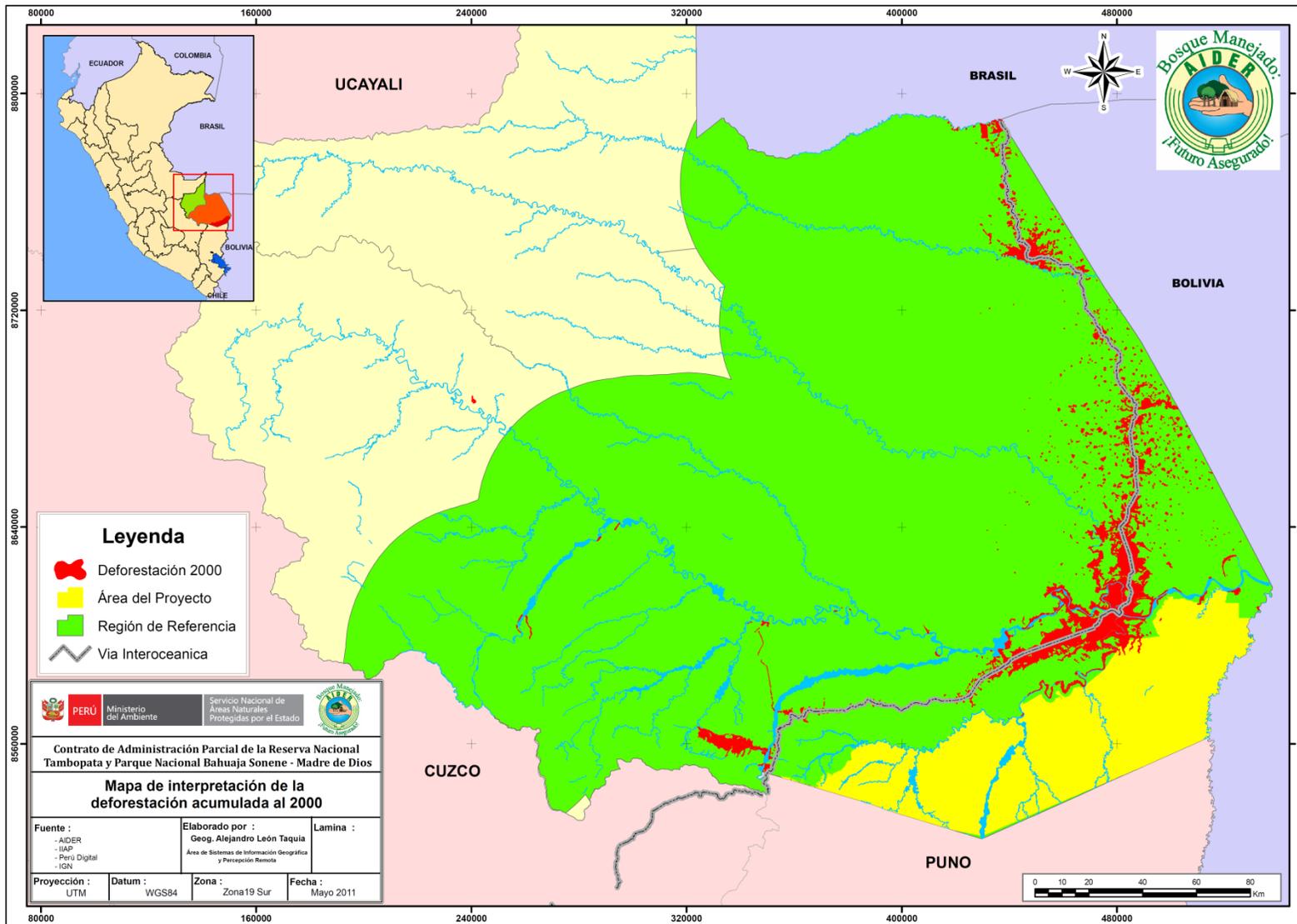


Figura 10. Mapa de deforestación al 2000

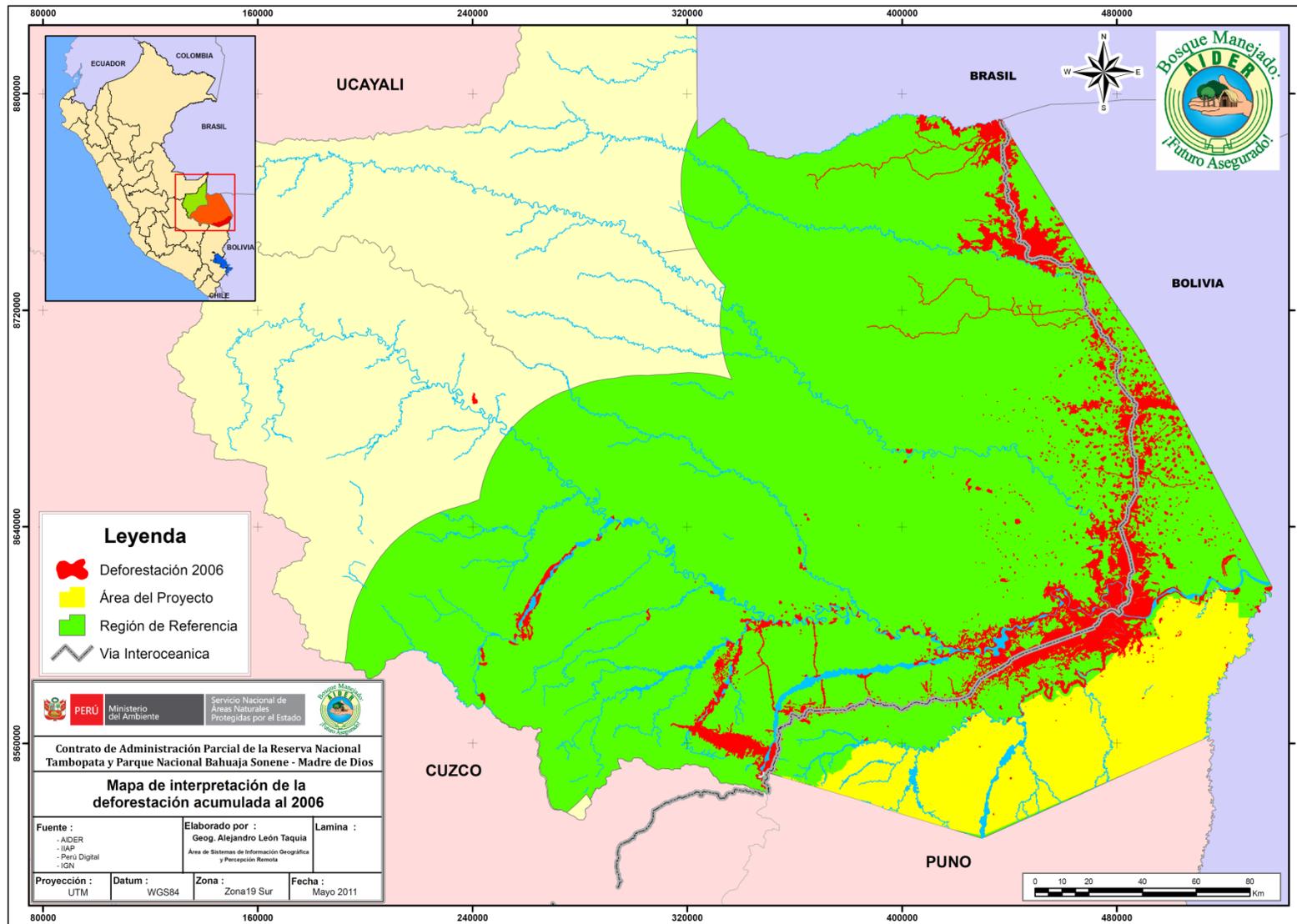


Figura 11. Mapa de deforestación al 2006

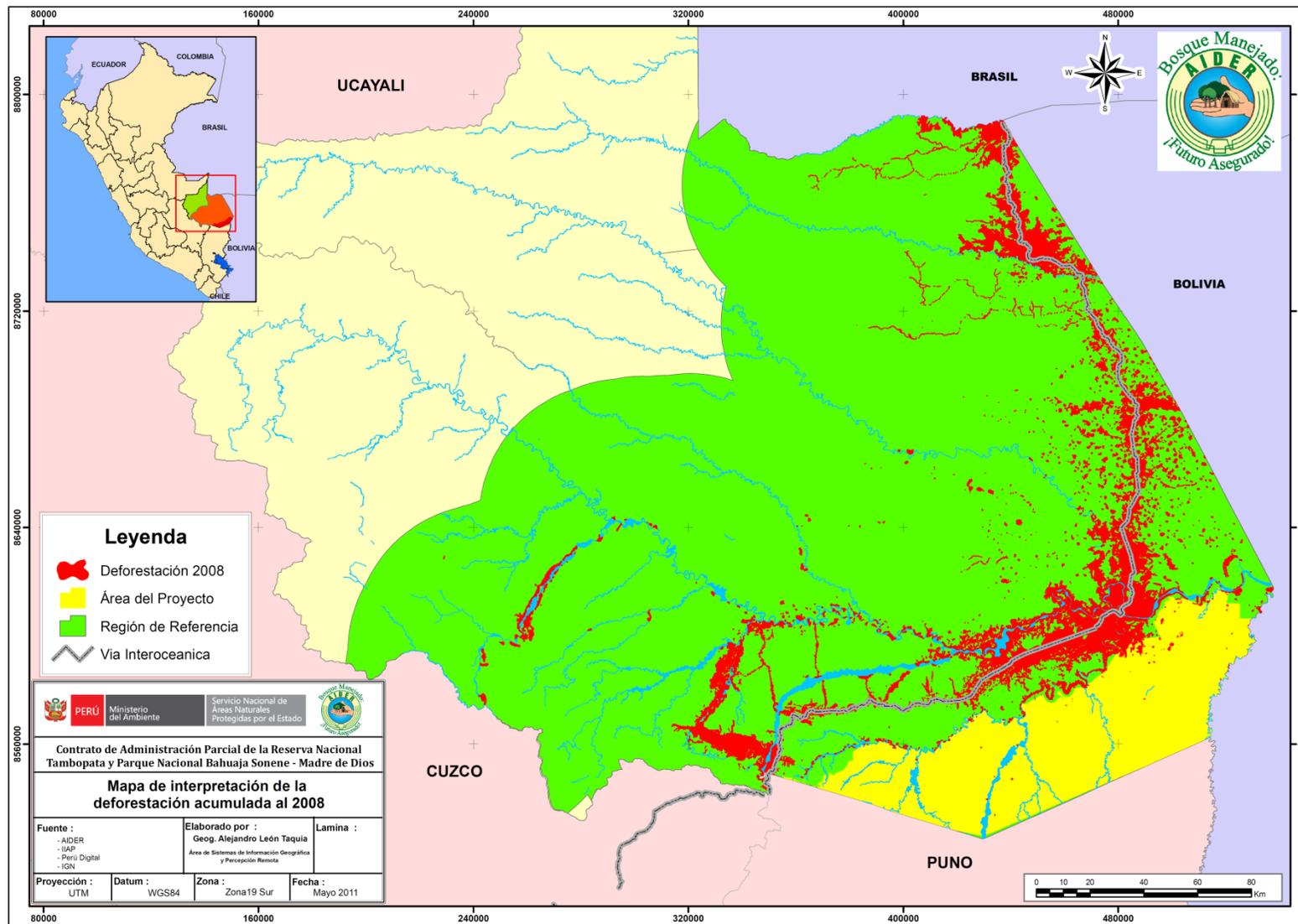


Figura 12. Mapa de deforestación al 2008

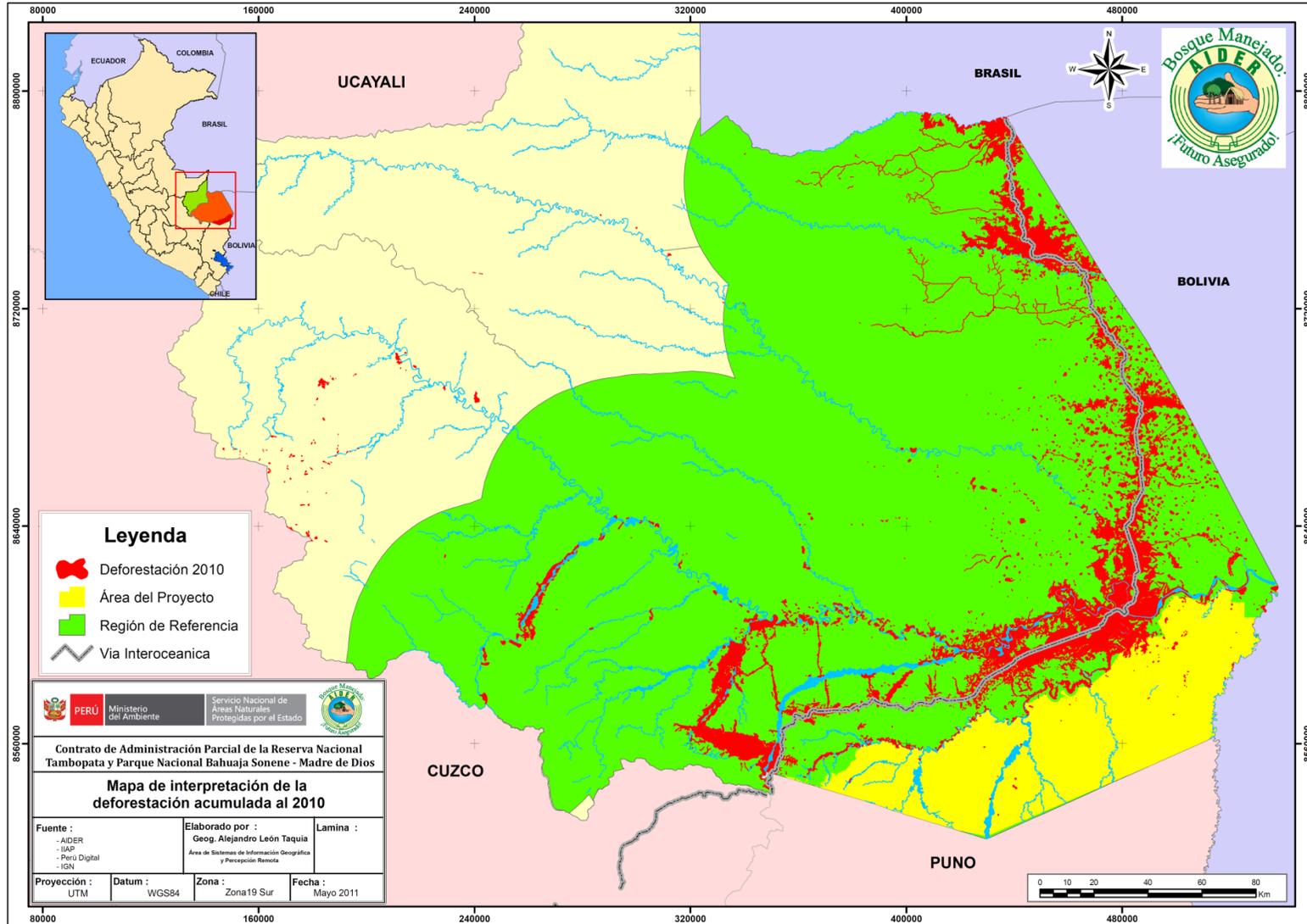


Figura 13. Mapa de deforestación al 2010

La información SIG de base de las figura 10, 11, 12 y 13 se puede observar en archivo adjunto "Geodatabase_Shapefiles_ABRIR CON arcGIS.mdb/Cobertura_Tematica/Deforestacion_2000, 2006, 2008, 2010."

2.1.2 Cálculo de la deforestación histórica.

Presentamos los resultados del análisis de deforestación encontrado para la zona de estudio que conforma la Región de Referencia.

Tabla 6. Características de la región de referencia

Detalle	Valor
Región de Referencia	5,638,200.91
% Respecto a Madre de Dios	66.64%
Superficie deforestada 2010 (ha)	408,069.94
Superficie deforestada 2008 (ha)	335,876.28
Superficie deforestada 2006 (ha)	329,997.96
Superficie deforestada 2000 (ha)	171,894.50

Tabla 7. Características del área del proyecto

Detalle	Valor
Área del Proyecto	542,078.37
Superficie deforestada 2010 (ha)	2,915.48
Superficie deforestada 2008 (ha)	2,593.49
Superficie deforestada 2006 (ha)	1,980.78
Superficie deforestada 2000 (ha)	1,686.08

2.1.3 Evaluación de la precisión del mapa

La verificación de los datos de la interpretación digital de las imágenes satelitales se realizó de acuerdo a los pasos descritos a continuación:

Diseño de muestreo

El método consiste en ubicar en forma aleatoria el primer punto de muestreo y, a partir de su ubicación, determinar la ubicación de todos los demás puntos en forma sistemática no alineada. Esto permite introducir cierta aleatoriedad en la elección de la muestra, mientras reduce el sesgo debido a la periodicidad; por otra parte, sigue garantizando una revisión completa del territorio.

La distancia entre los puntos será de 500 m, con lo que el rectángulo de 5 mil hectáreas se divide en 200 cuadros que contendrán los puntos de muestreo. Por las condiciones del área se aplicarán 5 rectángulos distribuidos equitativamente en toda el área estudiada con una

extensión total de 25 000 ha. Una de las consideraciones principales era que los puntos cayeran en lugares con fácil acceso terrestre o fluvial para evitar altos costos.

Cálculo del tamaño de muestra

Todo muestreo estadístico tiene un tamaño de muestra de acuerdo al nivel de probabilidad o de confianza que se quiera otorgar a la estimación, el error tolerable en la estimación y de la propia heterogeneidad. Para imágenes clasificadas, donde la variable no es cualitativa sino categórica, se recomienda la distribución binomial de probabilidad (Chuvieco 2008), calculándose el tamaño de muestra mediante la siguiente fórmula:

$$n = \frac{Z^2 p q}{E^2}$$

Dónde:

- Z es el valor de la abscisa de la curva normal estandarizada para un nivel determinado de probabilidad;
- P indica el porcentaje de aciertos estimado;
- Q indica el porcentaje de errores ($q = 1 - p$) y
- E el nivel permitido de error.

Considerando los porcentajes de acierto y error iguales a 90% y 10%, además del error estándar permisible 10%, para 95% de confianza, la fórmula queda definida en la forma siguiente:

$$n = \frac{1,96^2 \times 90 \times 10}{10^2} = 34,57$$

Esto significa que el tamaño mínimo es 35 puntos de verificación, los cuales se detallan en el anexo A. Esta cantidad de puntos se debe distribuir en forma proporcional en las 5 áreas distribuidas correspondiendo a 7 puntos de muestreo por zona.

El número de muestra resultante de la fórmula es un valor mínimo de muestreo; si se considerara necesario (por ejemplo, si se tuviesen más clasificaciones) se podría aumentar el número de muestras.

Recolección de datos de referencia

Se procedió a localizar los puntos de muestreo seleccionados aleatoriamente, empleando para ello unidades de GPS. Se verificó que las clases del mapa (bosque – no bosque) correspondan a la realidad del campo. Como las fechas de las imágenes de satélite y la fecha del trabajo de campo difiere en algunos años, se realizaron las consultas, por medio de encuestas no estructuradas, sobre el uso actual y del uso anterior de las unidades verificadas a los dueños de los predios y/o pobladores de la zona.

Se levantaron parcelas de muestreo para los bosques secundarios y se capturaron imágenes fotográficas de la zona.

La inspección de los puntos dio como resultado un listado de puntos de verificación.

Análisis de Resultados

- **Matriz de confusión**

Con la lista de datos obtenidos en campo como con los de referencia, se construye una matriz cuadrada, de (m filas) X (m columnas) denominada matriz de confusión. Las columnas suelen identificar las clases referenciales (realidad de campo); mientras que las filas corresponden a las clases del mapa. En esta matriz, la diagonal expresa el número de puntos de verificación donde concuerdan ambas fuentes (mapa y campo), mientras que los marginales suponen errores de asignación. La relación entre el número de puntos correctamente asignados y el total expresa la fiabilidad global del mapa. Los residuales en columnas indican tipos de cubierta real que no se incluyeron en el mapa; mientras que los residuales en filas implican categorías del mapa que no se ajustan a la realidad. En la siguiente tabla se muestra la matriz de confusión para el presente caso.

Tabla 8. Matriz de confusión

Clase en mapa	Clase en campo			Exactitud (%)	Error de comisión (%)
	1	2	Total		
1	17	1	18	94.4	5.6
2	2	15	17	88.2	11.8
Total	19	16	35		
Exactitud (%)	89.5	93.8			
Error de omisión (%)	10.5	6.3			

Clase 1 = bosque y clase 2 = deforestado

Ahora para determinar la confiabilidad del mapa se procede a aplicar la siguiente fórmula:

$$F_m = \frac{\sum X_i}{\sum \sum X_{ij}} \times 100$$

Dónde:

- F_m confiabilidad del mapa.
- ∑X_i sumatoria de los aciertos o acuerdo observado.
- ∑∑ X_{ij} total de los puntos muestreados.

Para el mapa de deforestación acumulada al año 2010, el F_m es de 91,43 %.

2.2 ESTIMACIÓN DE LAS ÁREAS ANUALES DE DEFORESTACIÓN NO PLANIFICADA DE LÍNEA BASE EN LA RRD

El modelo de deforestación requiere de una superficie de costos de oportunidad tanto para el cálculo de las tasas de deforestación como para la ubicación de nuevos destinos de vías.

El cálculo de las superficies de costo de oportunidad está basado en el trabajo realizado por Fleck *et al.* (2010). Este trabajo consideró tanto actividades agrícolas como forestales para calcular los costos de oportunidad.

Las actividades económicas relacionadas al aprovechamiento de la castaña y la madera han sido consideradas en el modelo como insumo para la construcción del área de expansión de la deforestación, debido a que las concesiones de castaña y de madera (donde se concentran dichas actividades) son superficies delimitadas legalmente y no son dinámicas (Artículo 88 de la Ley Forestal³), lo que significa que nuevas concesiones maderables no pueden ser creadas en cualquier momento, sino que todas las existentes fueron creadas en el marco de un concurso público de concesiones. De esta manera, el modelo asigna tasas de deforestación dependiendo del estrato y ubica la deforestación generando mapas de probabilidad que son calculados usando el método de los pesos de evidencia. Los pesos de evidencia son valores estadísticos de repelencia o atracción a la deforestación que presentan los diferentes usos de la tierra, tales como las mencionadas concesiones forestales y las concesiones de castaña, entre otros, que repelen la deforestación (efecto barrera), o como las concesiones de minería que, por el contrario, atraen a la deforestación. Así, estos pesos de evidencia permiten al modelo diferenciar la velocidad de la deforestación bajo diferentes usos de la tierra en el tiempo.

En la definición de los factores dinámicos de modelo se han incluido solamente actividades económicas que implican cambio de uso de la tierra (Maíz y Carne), debido a que precisamente este tipo actividades (su costo de oportunidad) son las que impulsan las tasas de deforestación de manera dinámica en cada estrato definido. La bibliografía indica que el cultivo de maíz y la ganadería para producción de carne vacuna son, junto con la minería, las principales causas de las altas tasas de deforestación, tanto a nivel de la Amazonía peruana como en el departamento de Madre de Dios (Malleux 1975, INRENA 1996, MINAM 2009).

El estudio de Fleck *et al.* (2010) define las superficies de mayor rentabilidad para cada una de las actividades económicas, definiendo los umbrales de rentabilidad de las actividades económicas que implican cambio de uso de la tierra (Maíz y Carne) en Madre de Dios, las cuales han sido tomadas por el modelo como áreas de expansión. Dicho modelo fue generado a partir de encuestas con productores rurales a lo largo de la carretera Interoceánica Sur en Madre de Dios, las cuales fueron aplicadas entre junio y octubre del año 2008; además, se usaron metodologías de simulación económica, adoptando estimaciones de productividad, precios y costos presentadas en la literatura y por organizaciones técnicas locales. La inclusión de este modelo está relacionada a posibles expansiones futuras de la actividad desde Acre

³ Ley N° 27308 Ley Forestal y de Fauna Silvestre

(Brasil). Para ello, se usó el modelo econométrico pre-existente publicado por Vera-Díaz *et al.* (2008), actualizado con datos locales.

El aprovechamiento de la castaña y de madera son actividades normadas por la legislación ambiental (Ley Forestal⁴, Ley Orgánica de Aprovechamiento de los RRNN⁵, Prohibición de tala de Castaña⁶) que legalmente no implican cambio de uso de la tierra; por lo tanto, no están contribuyendo a modificar significativamente las tasas de deforestación. El aprovechamiento forestal sostenible bajo planes de manejo a mediano y largo plazo no implica pérdida significativa en el bosque⁷.

El cálculo del costo de oportunidad consiste en generar superficies de rentabilidad tanto para la ganadería como para la producción de maíz. Para generar éstas superficies de rentabilidad es necesario primero crear superficies que representen los ingresos y los egresos de cada una de las dos actividades mencionadas. La creación de las superficies de costo de oportunidad se realiza siguiendo el procedimiento que es descrito a continuación. Cada una de las variables que se describen a continuación representa un raster para la zona de análisis. El cálculo del costo de oportunidad se realiza como se presenta a continuación:

$$CO = Rent_{max}\{Carne, Maiz\}$$

Dónde:

CO = Costo de oportunidad

$Rent_{max}$ = Rentabilidad máxima

Rentabilidad de carne

⁴ La Ley Forestal y de Fauna Silvestre (Ley N°29763) especifica que aquellas tierras con cobertura boscosa

cuya capacidad de uso mayor es forestal y/o protección, en ningún caso podrán cambiar a usos agrícolas o pecuarios. En los bosques en tierras de protección la concesión forestal para otros productos del bosque (castaña, en este caso) procede siempre que no ocasione la tala o destrucción de las especies forestales, no provoque la alteración de la cobertura arbórea y no origine impacto negativo en la fauna silvestre existente.

⁵ Según la Ley Orgánica para el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales (Ley N°26821), el titular de un derecho de aprovechamiento debe garantizar el *mantenimiento de los procesos ecológicos esenciales* durante el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales (maderables o no maderables).

⁶ Mediante el Decreto Supremo N° 044-2002-AG, se prohíbe la tala y quema de árboles de castaña (*Bertholletia excelsa*), por considerarse de interés nacional el aprovechamiento sostenible y la transformación con fines industriales y comerciales de esta especie. Aquel que incumpla con esta medida,

⁷ Dykstra, Sabogal y otros autores señalan que se puede explotar madera y otros recursos de los bosques tropicales, en el marco de un plan general de ordenación forestal, de una forma ecológicamente correcta y económicamente rentable, y que promueva simultáneamente la sostenibilidad de la riqueza del bosque en madera y en productos forestales no madereros”.

El modelo de rentabilidad de carne crea una superficie de productividad de ganado usando algunas variables que fueron seleccionadas a partir de los análisis de regresión que fueron llevados a cabo por Fleck *et al.* (2010). Este modelo considera los precios medios de insumos agrícolas en la región, la carga animal promedio por hectárea, la precipitación media mensual de los años 1996 al 2001, el valor de la inversión media y la distancia a vías afirmadas. La mayoría de esta información fue obtenida con encuestas realizadas en campo en el año 2008 por Fleck *et al.* (2010).

El modelo de rentabilidad de carne calcula los ingresos generados por la actividad ganadera multiplicando la productividad de carne por el precio unitario al que es pagada la carne en los principales mercados donde ésta es comercializada. Los egresos en el modelo son calculados tanto de los costos de transporte hacia los mercados como de los costos de producción que han sido igualmente obtenidos con trabajo de campo. La diferencia entre las superficie de ingresos y egresos genera la superficie de rentabilidad ver figura 14.

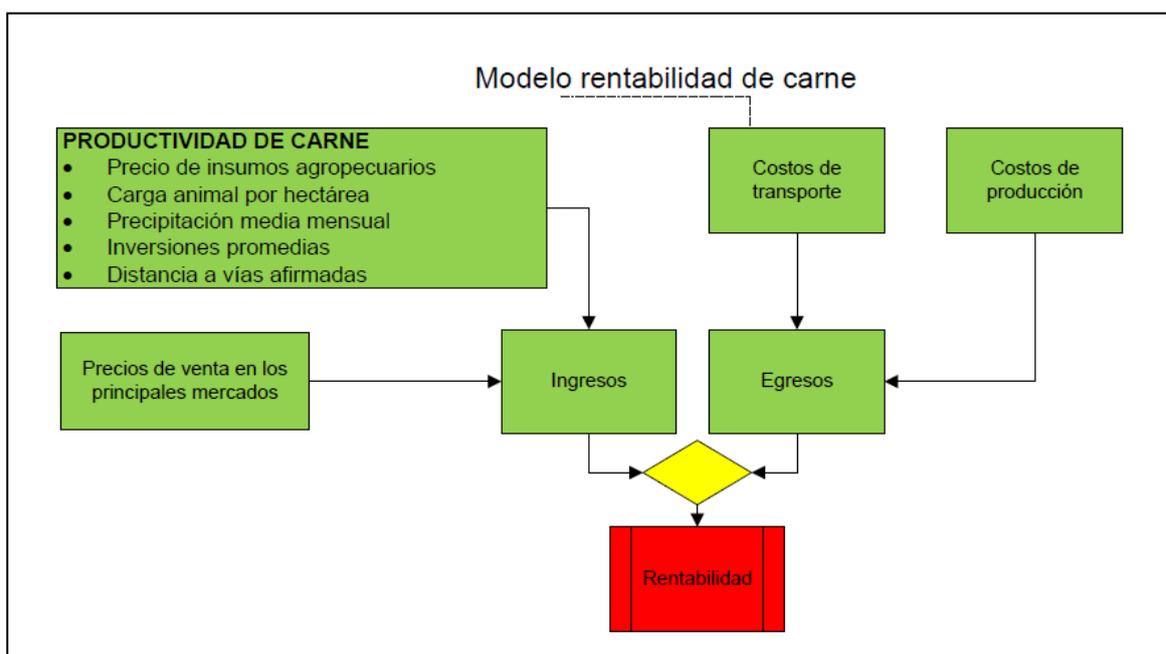


Figura 14. Modelo para el cálculo de la rentabilidad de carne

A continuación, se describe el procedimiento necesario para el cálculo de la superficie de rentabilidad de carne.

$$Rent_{carne} = P_{carne} \times Y_{carne} - CP_{carne} - CT_{carne} \times Y_{carne}$$

Dónde:

$$Rent_{carne} = Rentabilidad_{carne} \text{ (US\$/ha/año)}$$

$$P_{carne} = Precio_{carne} \left(\frac{US\$}{ton} \right) = 4473 \frac{US\$}{ton}$$

$$Y_{carne} = Rendimiento_{carne} \text{ (ton/ha/Year)}$$

El modelo elaborado con datos de Fleck *et al.* (2010), obtenido a través de información de tipo primaria, es utilizado para calcular el rendimiento de la carne.

El modelo de regresión que se presenta a continuación fue usado para estimar la productividad de la actividad ganadera.

$$\ln Y_{carne} = \beta_0 + \beta_1(\ln input_{carne}) + \beta_2(density_{carne}) + \beta_3(precip_{carne_i}) + \beta_4(\ln invest_{carne_i}) + \beta_5(dist_{viasAfirm_i}) + \mu_i$$

Tabla 9 .Variables usadas para el cálculo de la productividad de carne

Variable	Descripción	Tipo de dato	Fuente
lginput_carne	Logaritmo del precio medio de insumos agropecuarios (Soles/ha)	Valor promedio 4.07	Trabajo de campo CSF (2008)
density_carne	valores medios de carga animal (cabezas/ha)	Valor promedio 1.46	Trabajo de campo CSF (2008)
precip_carne	precipitación media mensual 1996-2001 (mm)	Capa espacial	CPTEC-INPE (2001)
lginvest_carne	log de los valores medios de inversiones (Soles/ha)	Valor promedio 6.20	Trabajo de campo CSF (2008)
dist_viasAfirm	Distancia a vías - afirmadas (km)	Capa espacial	ZEE GOREMAD (2008)

La superficie de productividad de carne fue convertida a kg/ha/año dividiendo el resultado de la expresión anterior por 1000. Los valores negativos de productividad son convertidos a 0 en la superficie de productividad.

La expresión que se presenta arriba es escrita en Dinámica EGO⁸ como se muestra en la figura 15.

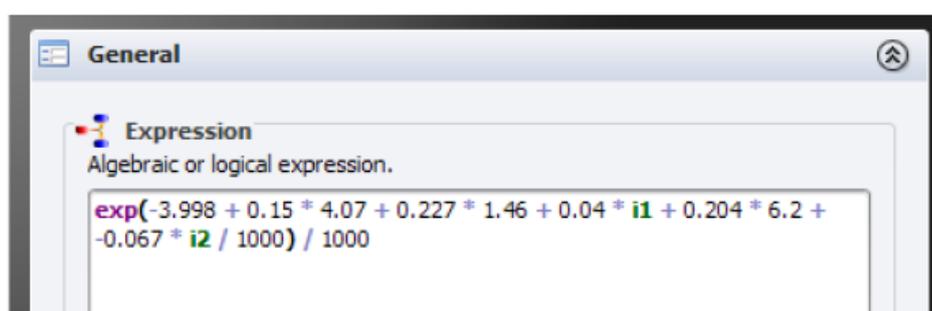


Figura 15. Expresión para el cálculo de la productividad de carne escrita en Dinamica EGO

⁸ Software Dinámica EGO; software escrito en C++ y Java, contiene una serie de algoritmos los cuales ejecutan una operación específica, y a su vez presenta una serie de algoritmos especialmente diseñados para simulaciones espaciales, incluyendo funciones de transición, calibración, y validación de métodos.

El raster que contiene la información sobre la distancia a las vías afirmadas (i2) fue dividido por 1000 para obtener la distancia en metros.

$$CP_{carne} = \text{Costo de Producción}_{carne} \left(\frac{US\$}{ton} \right) = 61 \frac{US\$}{ha}$$

$$CT_{carne} = \text{Variable dinamica estimada por el modelo} \frac{US\$}{ton}$$

El cálculo de las superficies de costo de transporte fueron todas realizadas usando los mismos valores de fricción que fueron usados en el estudio de Fleck *et al.* (2010).

Los mercados usados para el cálculo de la superficie de costo acumulado de transporte para la ganadería son los centros poblados en los cuales hay mataderos (Puerto Maldonado, Iberia, Laberinto, Mazuco).

Tabla 10. Parámetros para el cálculo de la rentabilidad de carne

Variable	Valor	Fuente
Pcarne	4473 US\$/ton	Aguilar (2007)
Ycarne	Ecuación Rendimiento carne	Fleck et al (2010)
Cpcarne	61 US\$/ha	Trabajo de campo CSF (2010)

$$Rent_{carne} = P_{carne} \times Y_{carne} - CP_{carne} \times Y_{carne} - CT_{carne} \times Y_{carne}$$

$$\begin{aligned}
 Rent &= \frac{4473 \text{ US\$}}{ton} \times Y_{carne} (ton/ha)/año - \frac{61 \text{ US\$}}{ha} - \frac{CT_{carne} \text{ US\$}}{ton} \\
 &\times Y_{carne} (ton/ha)/año \\
 &= Y_{carne} (ton/ha)/año \left(\frac{4473 \text{ US}}{ton} - \frac{CT_{carne} \text{ US\$}}{ton} \right) - 61(\text{US\$/ha/año})
 \end{aligned}$$

La expresión que se presenta arriba puede ser escrita en Dinamica EGO, como se presenta en la figura 16.

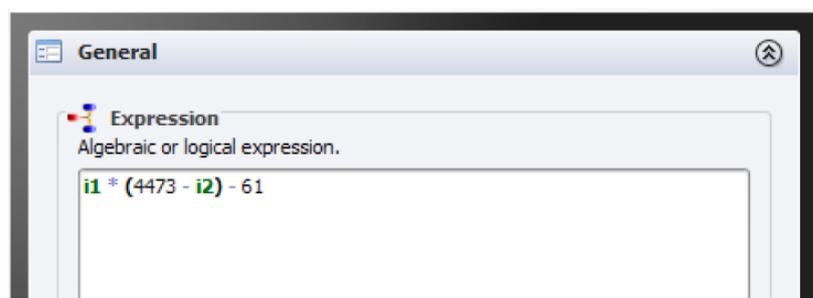


Figura 16. Expresión para el cálculo de la rentabilidad de carne escrita en Dinamica EGO

Dónde:

i1 representa la productividad de carne, i2 representa los costos de transporte del ganado.

Rentabilidad de maíz

Al igual que en el modelo de rentabilidad de carne, el modelo de rentabilidad de maíz calcula productividades usando algunas variables que fueron seleccionadas en el estudio de Fleck *et al.* (2010) con métodos de regresión. Las variables utilizadas por este modelo a diferencia del modelo de carne son la cantidad de semillas en kg plantadas por hectárea, la precipitación media anual entre 1996 y 2001, los ingresos promedios a nivel de distrito, el costo promedio de la mano de obra igualmente a nivel distrital y el pH del suelo. Ver figura 17.

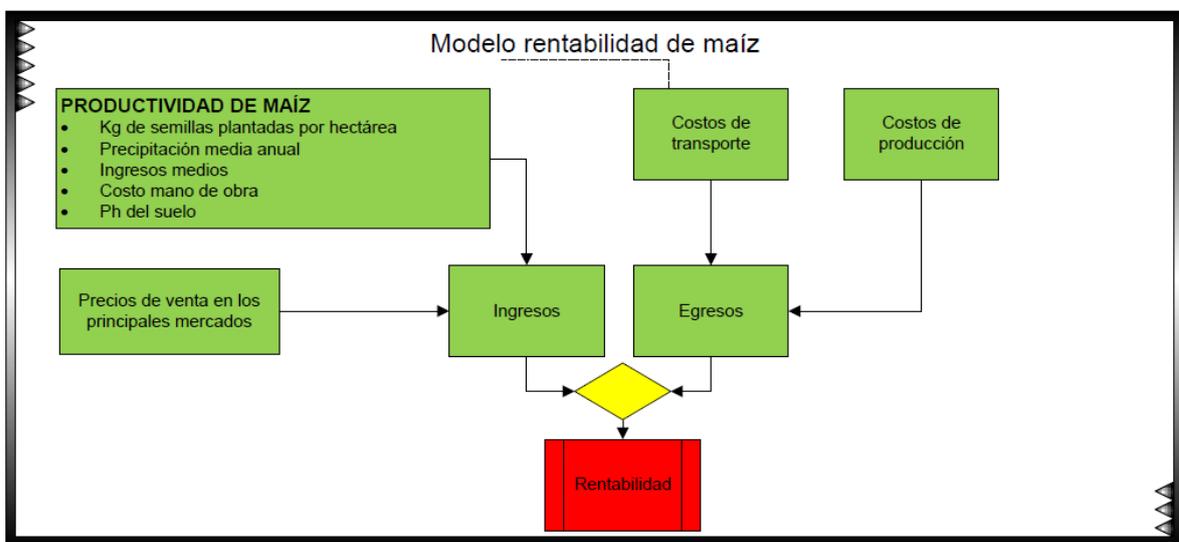


Figura 17. Modelo para el cálculo de la rentabilidad de maíz

$$Rent_{maíz} = P_{maíz} \times Y_{maíz} - CP_{maíz} - CT_{maíz} \times Y_{maíz}$$

donde:

$$Rent_{maíz} = Rentabilidad_{maíz} \text{ (US\$/ha/año)}$$

$$P_{maíz} = Precio_{maíz} \left(\frac{US\$}{ton} \right) = 166 \frac{US\$}{ton}$$

$$Y_{maíz} = Rendimiento_{maíz} \text{ (ton/ha/Year)}.$$

$$Rendimiento_{maíz} = \beta_0 + \beta_1(seed_maíz) + \beta_2(precip_maíz) + \beta_3(income_maíz) + \beta_4(labor_maíz) + \beta_5(ph_maíz) + \mu_i$$

Tabla 11. Variables usadas para el cálculo de la productividad de maíz

Variable	Descripción	Tipo de dato	Fuente
seed_maíz	Valor medio de semillas plantadas en kg/ha a nivel distrital	Raster	Trabajo de campo CSF (2008)
precip_maíz	Precipitación media anual 1996-2001 (mm)	Raster	CPTEC-INPE (2001)
income_maíz	Valor promedio de ingresos en Soles a nivel distrital	Raster	Trabajo de campo CSF (2008)
labor_maíz	Valor promedio de mano de obra en Soles/ha a nivel distrital	Raster	Trabajo de campo CSF (2008)
ph_maíz	Valores de Ph	Raster	ISRIC (1998)

$$\begin{aligned}
Rendimiento_{maíz} = & -4232.35 + 38.42 \left(\frac{seed_{maíz} Kg}{ha} \right) + 2.293 (precip_{maíz} mm) \\
& + 0.118 (income_{maíz} Soles) + 1.178 \left(labor_{maíz} \frac{Soles}{ha} \right) + 179.21 (ph_{maíz})
\end{aligned}$$

La expresión matemática que se presenta arriba es codificada en Dinamica EGO, como se muestra en la figura 18.

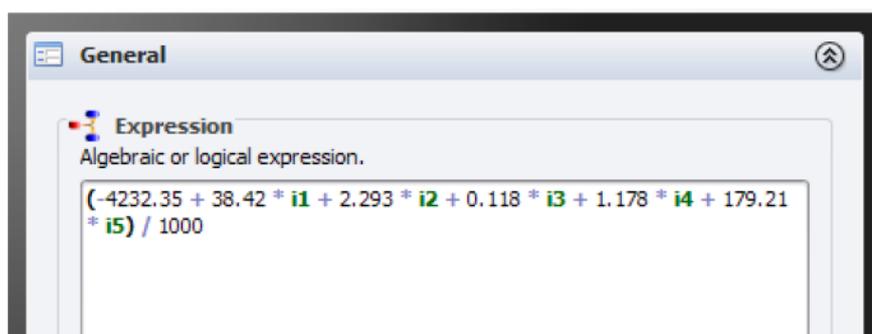


Figura 18. Expresión para el cálculo del rendimiento de maíz escrita en Dinamica EGO

Dónde:

i1=seed_maíz

i2=precip_maíz

i3=income_maíz

i4= labor_maíz

i5=ph_maíz

La superficie de productividad de maíz fue convertida de kg/ha/año a ton/ha/año dividiendo por 1000.

$$CP_{maíz} = Costo\ de\ Producción_{maíz} \left(\frac{US\$}{ha} \right)$$

$$CT_{maíz} = Variable\ dinamica\ creada\ por\ el\ modelo \frac{US\$}{ton}$$

Tabla 12. Parámetros para el cálculo de la rentabilidad de maíz

Variable	Valor	Fuente
Pmaíz	166 US\$/ton	MINAG(2008)
Ymaíz	Ecuación rendimiento	Fleck et al (2010)
CPmaíz	Valor promedio por distrito	Trabajo de campo CSF (2008)

$$Rent_{maíz} = P_{maíz} \times Y_{maíz} - CP_{maíz} - CT_{maíz} \times Y_{maíz}$$

$$Rent_{maíz} = 166 \left(\frac{US\$}{ton} \right) \times Y_{maíz} \text{ (ton/ha/año)} - CP_{maíz} \left(\frac{US\$}{ha} \right) - CT_{maíz} \left(\frac{US\$}{ton} \right) \times Y_{maíz} \text{ (ton/ha/año)}$$

$$= Y_{corn} \text{ (ton/ha)/year} \left(\frac{166 US}{ton} - \frac{TC_{meat} US\$}{ton} \right) - PC_{corn} \text{ (US\$/ha/año)}$$

La expresión ha sido codificada en Dinamica EGO, como se muestra en la figura 19.

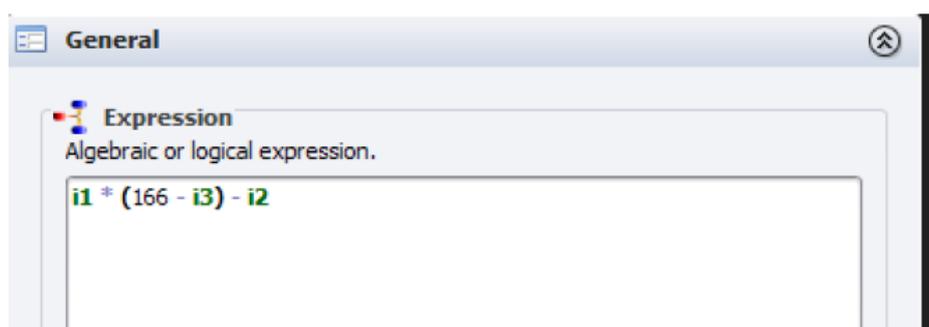


Figura 19. Expresión para el cálculo de la rentabilidad de maíz escrita en Dinamica EGO

Dónde:

i1=Productividad de maíz

i2=Costo de producción del maíz

i3=Costo de transporte del maíz

$$CO = Rent_{max}\{Carne, Maíz\}$$

La expresión para el cálculo del costo de oportunidad es escrita en Dinamica EGO, como se presentan en la figura 20.



Figura 20. Expresión para el cálculo del costo de oportunidad escrita en Dinamica EGO

Dónde:

I1= Rentabilidad de maíz

I2= Rentabilidad de carne

Lo que se busca con la esta expresión es tomar el valor más alto de ambas superficies de rentabilidad para obtener el costo de oportunidad.

Estratos del modelo

Los patrones espaciales de la deforestación pueden variar al interior de la región de referencia, por lo cual un análisis estratificado de la deforestación podría ser necesario, siempre y cuando todos estos factores lo ameriten.

Cada uno de los estratos dentro de la región de referencia fue delimitado en el espacio teniendo en cuenta los criterios correspondientes.

Se determinaron así entonces las tasas de deforestación históricas por cada estrato. Se seleccionó además un enfoque de proyección de la tasa de deforestación futura por cada estrato tomando en cuenta los tres enfoques propuestos en la metodología VCS, los cuales son:

Enfoque “a”: Tasa futura = promedio histórico;

Enfoque “b”: Tasa futura = proyección en función del tiempo;

Enfoque “c”: Tasa futura = proyección modelada en función de variables independientes para las cuales se cuenta con supuestos sustentables y proyecciones hacia futuro.

Considerando que algunos de los estratos tienen el enfoque “c”, se crearon ecuaciones que permiten hacer una estimación futura de la tasa de deforestación.

Los estratos pueden ser definidos de manera estática o dinámica y dependiendo de las particularidades encontradas en la región de referencia. Algunos estratos pueden ser estáticos mientras que otros pueden ser dinámicos.

Estratos estáticos son porciones del territorio de la región de referencia cuya frontera es estable a lo largo del tiempo, es decir la misma en el pasado, presente y futuro.

Estratos dinámicos son territorios cuyos límites espaciales varían en el tiempo debido a cambios en las circunstancias (desarrollo de infraestructura, cambios económicos y sociales importantes, explotación a partir de cierta fecha de nuevos tipos de recursos, etc.).

El modelo presenta una combinación de estratos dinámicos y estáticos. Algunos de estos estratos aumentan su área en el tiempo mientras que otros estratos presentan una disminución de la misma.

A continuación se detalla el procedimiento realizado para la estratificación de la región de referencia. Luego de calcular ambas superficies de rentabilidad, de carne y de maíz, se elaboró el mapa de costo de oportunidad para el año 2000 usando la red vial secundaria de este año para generar las superficies de costos de transporte. La superficie de costo de oportunidad creó valores que están entre los 60 US\$/ha/año y los 142 US\$/ha/año.

Como se puede observar en la figura 21, los costos de oportunidad más altos se crean en las áreas circundantes a la carretera Interoceánica debido a que los mercados donde se comercializan los productos están, en su mayoría, sobre dicho eje vial. Para el cálculo del costo de oportunidad se consideró lo que es hoy la carretera interoceánica, como una vía de nivel secundario en aquel entonces.

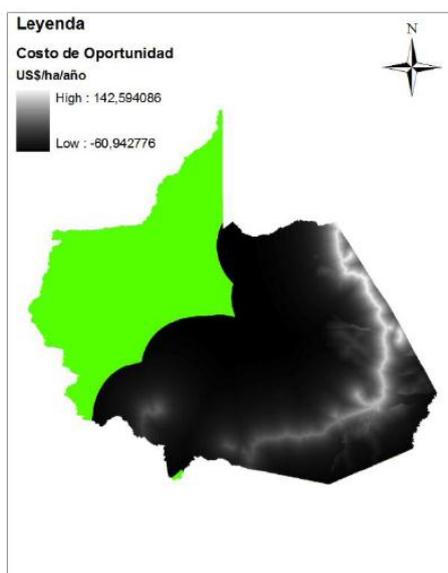


Figura 21. Costo de oportunidad para el año 2000 calculado con la rentabilidad de carne y maíz

El modelo de deforestación considera tanto el enfoque “a” para la tasa de deforestación como el enfoque “c” de acuerdo a los estratos del modelo.

Tanto las concesiones mineras como el estrato donde los costos de oportunidad son negativos, utilizan tasas promedias históricas (Enfoque A) y el estrato donde el costo de oportunidad es positivo utiliza tasas proyectadas en función del costo de oportunidad (Enfoque C). Para más información ver sección 3.3

Estratos estáticos en el modelo

El modelo de deforestación considera un solo estrato estático (ver figura 22). El estrato 3 utiliza tasas de deforestación históricas promedio en las concesiones mineras, pues la realidad de la tasa de deforestación en éstas no depende de las rentabilidades que se pueden dar por actividades como la ganadería o la agricultura.

Estratos dinámicos en el modelo

El modelo de deforestación considera también estratos dinámicos. Estos estratos son todos generados por los cambios que se dan en las superficies de costo de oportunidad que van cambiando año tras año como consecuencia de la construcción y mejoramiento de vías que trae consigo una disminución en los costos de transporte. El modelo establece primero dos grandes estratos, el primero de los estratos corresponde a la zona donde el costo de oportunidad es positivo y el segundo de los estratos a la zona donde el costo de oportunidad es negativo. Ver figura 23.

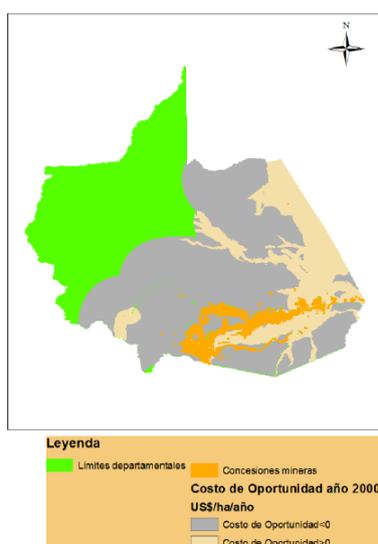


Figura 22. Estratos dinámicos y estáticos del modelo de deforestación

Como puede observarse en la figura 22, existe una frontera entre el estrato número 1 y el estrato número 2, cuya rentabilidad es dinámica en el tiempo, lo que ocasiona tanto cambios de área en el estrato con costos de oportunidad positivos como en el estrato con costos de oportunidad negativos. El estrato 2 tiende a disminuir en área en el tiempo, cuando el modelo es ejecutado a favor del estrato 1, el cual tiende a aumentar en área, pues son más las áreas que se van volviendo rentables a futuro por el desarrollo de nueva infraestructura vial secundaria. Además, de los tres estratos mencionados anteriormente, el modelo de deforestación divide el área donde los costos de oportunidad son positivos, es decir donde existe una rentabilidad de las actividades consideradas en sub-estratos (ver figura 23). Esta división en sub-estratos es necesaria para el cálculo inicial de un modelo de regresión que permita estimar las tasas de deforestación dinámicamente año a año en función del costo de

oportunidad. Cada uno de los 10 sub-estratos que se presentan en la figura 23 tienen una tasa de deforestación diferente, que tiende al aumento hacia el futuro.

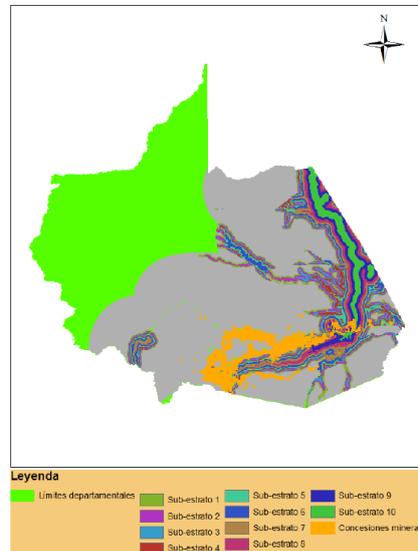


Figura 23. Creación de sub estratos donde el costo de oportunidad es positivo

Cálculo de tasas de deforestación por estratos

Para el cálculo de las tasas histórica en todos los estratos se utiliza la ecuación propuesta por Puyravaud (2003).

La ecuación que se presenta a continuación ha sido utilizada para calcular las tasas anuales históricas del período 2000-2005, las cuales a su vez son utilizadas posteriormente para realizar todos los análisis que se presentan a continuación.

$$Tasa\ de\ deforestacion = \left[1 - \left(\frac{H_2}{H_1} \right)^{1/t} \right]$$

Donde:

H_1 = # de hectáreas de la clase bosque en el primer año del período

H_2 = # de hectáreas de la clase bosque en el segundo año del período

t = Duración en años del período histórico (5 años)

Un análisis gráfico preliminar de los datos de logaritmo de la deforestación como función de los costos de oportunidad cuando se consideran tanto valores positivos como negativos de esta variable, indica que para valores de costo de oportunidad menores de cero es posible que existan otros factores que sean los que tengan efecto sobre la tasa de deforestación, dado que se observa un aumento de la deforestación incluso con valores muy negativos de costo de oportunidad. Ver figura 24.

Este hallazgo es una de las principales causas que motivan la estratificación de la región de referencia. Con este análisis se encontró además que la zona correspondiente a concesiones mineras, a pesar de tener costos de oportunidad muy bajos, presenta altas tasas de deforestación. Este análisis fue el que permitió dividir la región de referencia en tres grandes estratos: concesiones mineras, costo de oportunidad positivo y costo de oportunidad negativo.

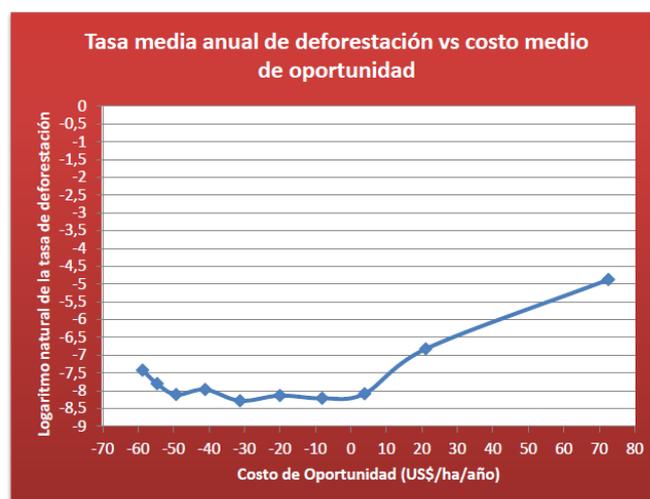


Figura 24.Relacion tasa histórica de deforestación y costo medio de oportunidad

El cálculo de la tasas de deforestación para cada uno de los estratos es explicado a continuación:

Estrato concesiones mineras

El estrato de concesiones como ya se mencionó anteriormente funciona bajo una tasa de deforestación histórica. La tasa de deforestación histórica anual de este estrato fue de 0,05044 o del 5,044%. Esta tasa es empleada durante toda la simulación y es aplicada únicamente al área comprendida por las concesiones mineras. Será necesario recalculer la tasa de deforestación histórica para este estrato con el trabajo de imágenes que está siendo realizado por el consorcio. La tasa es calculada aplicando una máscara del área a los mapas de cobertura y utilizando la fórmula propuesta por Puyravaud (2003).

Estrato costo de oportunidad negativo

Al estrato con costo de oportunidad negativo, a pesar de ser un estrato dinámico en el modelo, le es aplicada igualmente una tasa de deforestación histórica durante toda la simulación. La tasa de deforestación utilizada para este estrato es del 0,00132 o del 0,132%. La tasa para este estrato es calculada de igual forma que para el estrato de concesiones mineras.

Estrato costo de oportunidad positivo

Una vez calculada la superficie de costo de oportunidad para el año 2000, se separó la superficie que divide el costo de oportunidad en valores positivos y negativos. La superficie con costos de oportunidad positivos fue dividida en 10 categorías, o sub-estratos, de áreas iguales usando el método conocido como "slice" disponible en el ArcGis 9.3.

Para realizar la división de la superficie de costos de oportunidad positivos durante toda la ejecución del modelo, fue necesario crear una script en lenguaje python para que pudiera ser utilizada en Dinamica EGO como un proceso de tipo externo. Esta script llama la extensión "Spatial analyst" del ArcGis en cada interacción del modelo para realizar el procedimiento necesario.

Es necesario dividir esta área en un determinado número de categorías, o sub-estratos, (ver figura 25) para tomar de cada uno de ellos un valor correspondiente a la tasa de deforestación del periodo histórico analizado y uno correspondiente al costo de oportunidad medio para dicha área. De esta manera se creó un modelo de regresión que explica la relación entre tasa de deforestación histórica anual y costo de oportunidad medio.

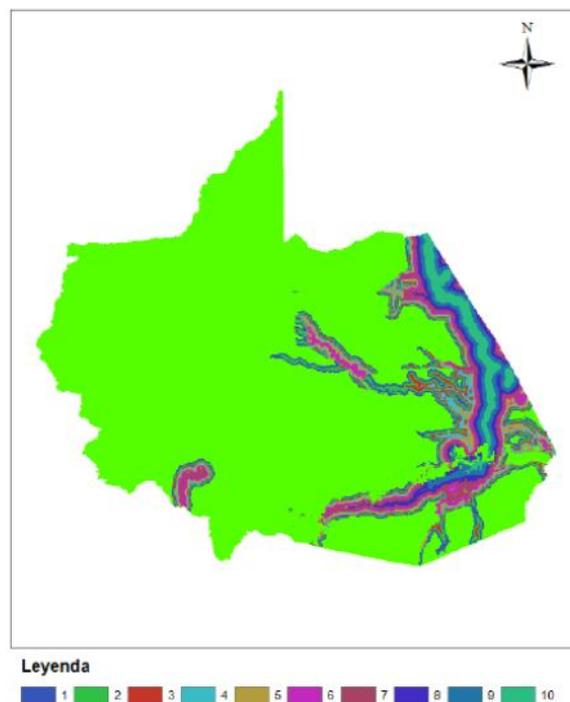


Figura 25. Sub estratos dinámicos del modelo de acuerdo a el valor del costo de oportunidad

En esta sección se describe el procedimiento que fue empleado para analizar y seleccionar el número de sub-estratos, el modelo de regresión y el estadístico de dispersión más apropiado para construir este modelo

En la construcción de modelos de regresión sobre datos espaciales, es vital incorporar la información de localización espacial en los datos de la regresión. En datos espaciales dos puntos cercanos no son independientes pues están relacionados por su proximidad. En estos casos, es entonces necesario estimar el efecto denominado auto-correlación dentro del análisis estadístico (Liebhold y Sharov, 1998). Cuando existe auto-correlación espacial y se aplica un modelo de regresión, el modelo puede resultar significativo, aun cuando no lo es. Los modelos de regresión asumen que los residuos de los modelos lineales son independientes e idénticamente distribuidos (i.i.d.), y esta condición no se cumple cuando hay auto-correlación. Esta auto-correlación hace que los cálculos de parámetros estén sesgados incrementando el error tipo I (falsamente rechazando la hipótesis nula de no efecto). Para solucionar este problema, existen varios métodos de regresión que incorporan la estructura espacial en el modelo de regresión; estos modelos se conocen como modelos autorregresivos (Dormann *et al.* 2007).

Los modelos autorregresivos, conocidos como GLMM (Spatial generalised linear mixed models), son modelos generalizados lineales, donde el predictor lineal contiene efectos aleatorios y error dentro de grupos con efecto de auto-correlación. Estos métodos incorporan la estructura espacial de los datos dentro de los grupos, corrigiendo el problema de relación de datos cercanos. Ver Pinheiro y Bates (2000) y Dormann *et al.* (2007) para detalles técnicos.

Con esto se busca construir un modelo de regresión que permita calcular tasas de deforestación en función de los costos de oportunidad. El modelo se fundamenta en que la rentabilidad de la ganadería y el cultivo del maíz tienen efecto sobre las tasas de deforestación. Dado que los datos se encuentran relacionados por cercanía espacial, el efecto de auto-correlación debe ser cuantificado e incorporado en el análisis mediante modelos autorregresivos. En esta parte del informe se describe el análisis aplicado para determinar el efecto de la auto-correlación sobre los datos y estimar un modelo con alta capacidad de predicción.

Metodología para la estimación del modelo de regresión

Para la creación del modelo de regresión se prepararon dos rasters en formato ASCII, uno con las tasas de deforestación correspondientes al periodo de análisis y el otro con el costo medio de oportunidad o con la mediana del costo de oportunidad. Se utilizaron diferentes niveles de categorización para el costo de oportunidad. Esta superficie fue dividida en 10, 20 y 30 categorías de igual área como se mencionó anteriormente. Esta división en diferentes números de categorías fue realizada con el fin de analizar el impacto de la categorización en el ajuste de los modelos de regresión. El cálculo de medias y medianas por separado se realizó con el mismo propósito.

La tabla 13 muestra los valores correspondientes a una categorización usando diez sub-estratos dentro del costo de oportunidad positivo y calculando el valor medio del costo de oportunidad.

Tabla 13. Tasa de deforestación y costo medio de oportunidad para diez sub-estratos

Sub-estrato	Tasa de deforestación anual	Costo de oportunidad (US\$/ha/año)
1	0,04%	0,76
2	0,02%	4,43
3	0,03%	8,48
4	0,04%	12,88
5	0,08%	18,39
6	0,14%	25,76
7	0,29%	35,87
8	0,55%	51,92
9	0,72%	75,46
10	1,23%	106,85

Se tomaron muestras de archivos rasters en formato ASCII en intervalos regulares de 100 píxeles para construir una serie de datos (x,y) que representara los costos de oportunidad y las tasas de deforestación.

Las regresiones se aplican sobre los datos transformados, solo para costos de oportunidad positivos, de manera que se ajusta un modelo de tipo:

$$\log(\mathbf{Y}) = \beta_1 \mathbf{X} + \beta_0,$$

Donde β_1 y β_0 son los coeficientes de la regresión lineal a estimar, $\log(\mathbf{Y})$ corresponde al logaritmo de las tasas de deforestación, y \mathbf{X} al costo de oportunidad.

Es decir, se asume para el modelo auto-regresivo que el efecto del costo de oportunidad ocurre únicamente cuando este es igual o mayor a 0.

Para determinar si la auto-correlación espacial en los datos de tasas de deforestación y costo de oportunidad existe, se utilizaron correlogramas con curvas *spline* (Bjornstad y Falck 2001). Este método utiliza los residuos de la regresión lineal generalizada para determinar la correlación entre los datos en función de su cercanía. Para determinar los intervalos de confianza en el correlograma, se utiliza la técnica no-paramétrica conocida como “*bootstrapping*” (ver Bjornstad y Falck 2001, para detalles técnicos). El modelo auto-regresivo utilizado corresponde al modelo GLMM descrito por Pinheiro y Bates (2000). En este modelo asumimos un modelo de Gauss para describir la estructura espacial y el efecto del vecindario de cada punto en el set de datos.

El análisis se realiza en el paquete estadístico R (Ihaka y Gentleman, 1996) de distribución libre. El modelo de correlograma se encuentra en la librería “*cf*” de R. El modelo de regresión con auto-correlación se encuentra en la librería “*lme*”.

La figura 26 muestra los correlogramas para niveles de categorización 10 (A), 20 (B) y 30 (C). Las líneas indican el nivel de correlación en función de la distancia, con sus intervalos de confianza calculados mediante “*bootstrapping*” al 95%. Como se observa en los tres casos, existe un efecto ligeramente significativo en distancias cortas menores al rango calculado, sin embargo el efecto de auto-correlación no es significativo para distancias mayores a 6 km.

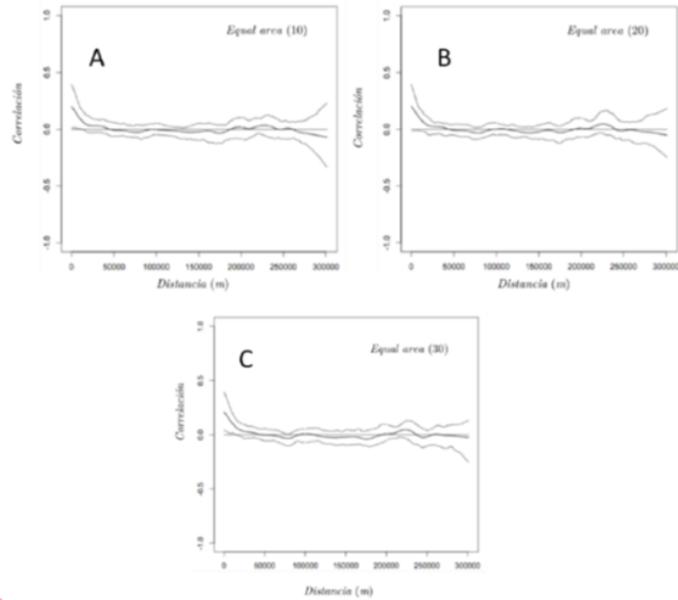


Figura 26. Correlogramas para el análisis de la auto-correlación espacial entre la tasa de deforestación y el costo de oportunidad

De las tres opciones consideradas puede observarse que la maximización del R² (tabla 14) se da cuando se considera una categorización del costo de oportunidad positivo considerando solo diez sub-estratos en el modelo.

Al disminuir el número de categorías, el nivel significativo se mantiene con un aumento marginal de R², con un rango marginalmente menor de auto-correlación.

En todos los casos, los coeficientes de la regresión calculados mantienen el nivel de significancia al incorporar la estructura espacial de los datos, lo que indica que el efecto de auto-correlación no tiene impacto importante en la regresión.

Tabla 14. Coeficientes de la regresión lineal

# Sub-estratos	β_1	β_0	Rango (m)	R ²	P
10	0.0395151	-7.976337		0.8782	<2e-16*
20	0.0391819	-7.9836285	5983.943	0.8707	<2e-16*
30	0.0389726	-7.9798633	6011.62	0.8673	<2e-16*

El asterisco indica valor altamente significativo con $\alpha < 0.001$. Los coeficientes corresponden a la ecuación $\log(y) = \beta_1 x_1 + \beta_0$, donde $\log(y)$ corresponde al logaritmo de la tasa de deforestación y x_1 al costo de oportunidad.

No se encontraron diferencias significativas entre el uso de la mediana y la media para la estimación de los modelos de regresión.

2.3 ANALISIS DE RESTRICCIONES DE LA DEFORESTACIÓN

2.3.2 Identificación de restricciones al uso del suelo

Según los estudios de la macrozonificación ecológica-económica del departamento de Madre de Dios se han definido Unidades Ecológicas Económicas (UEE) en base a sus potencialidades y limitaciones.

Con esta información se ha elaborado un cuadro resumen (tabla 15) en el cual se presenta las características del mapa de aptitud productiva para las actividades agropecuarias, definiéndose zonas de cultivos en limpio, cultivos permanentes y pastos.

Tabla 15. Aptitud agropecuaria de áreas actualmente cubiertas de bosque

Aptitud productiva	Ubicación	Limitantes	Área actualmente ocupada por bosque en la Región de Referencia (ha)
<p>Áreas con vocación para cultivos en limpio (843 085,38 ha en toda la región Madre de Dios, 619 279,72 ha en la Región de Referencia del proyecto REDD)</p>	<p>Planicie aluvial inundable de los principales ríos como Madre de Dios, Inambari, De los amigos, De las piedras y Tahuamanu</p>	<p>Estas áreas presentan limitaciones para su uso, por su fertilidad media a baja, debido a deficiencias de nutrientes disponibles, especialmente fósforo y en menor proporción nitrógeno, y por problemas de inundación esporádica y mal drenaje. En estas áreas se ha identificado también un potencial de recursos auríferos.</p>	<p>403 250,41</p>
<p>Cultivos permanentes (2 385 400,28 ha en toda la región Madre de Dios, 2 231 982,76 ha en la Región de referencia del Proyecto REDD)</p>	<p>Al este del departamento a ambos lados de la carretera interoceánica, en el sector sur del departamento (en las terrazas altas de ambos lados del río Madre de Dios), en la parte central del departamento (entre los ríos Alto Madre de Dios, Colorado, Inambari y Tambopata), así como en el curso bajo de los ríos Los Amigos y Las Piedras</p>	<p>Las limitaciones para su uso están referidas a la baja fertilidad de los suelos, debido a la deficiencia en fósforo y nitrógeno, y a la moderada toxicidad por el aluminio intercambiable. En las terrazas disectadas se pueden presentar problemas de erosión</p>	<p>1 152 944,37</p>
<p>Pastos (22 490,25 ha en toda la región Madre de Dios, 8 509,54 ha en la Región de Referencia del proyecto REDD)</p>	<p>Se ubican en pequeñas superficies dispersas en el sector suroeste del departamento. Otras zonas para pastos asociados con cultivos permanentes y forestales se ubican: en el sector este en zonas adyacentes a la Carretera Interoceánica; en la parte central entre los ríos Tahuamanu, Las Piedras y la frontera con Bolivia; y en el sector sur, entre la margen derecha de los ríos Tambopata y Madre de Dios y la frontera con Bolivia</p>	<p>Estas áreas presentan limitaciones para su uso por su baja fertilidad natural, debido a: deficiencias de fósforo; contenido medio a bajo de materia orgánica y potasio; niveles medio y alto de aluminio intercambiable;- textura fina; y, en algunas zonas, el mal drenaje.</p>	<p>1 450 342,83</p>

Fuente: Gobierno Regional de Madre de Dios

Costos de oportunidad de otros usos de la tierra. La pavimentación de la carretera tendrá como principal efecto el abaratar los costos de transporte de insumos y productos de actividades económicas como la agricultura y la ganadería, aumentando su rentabilidad en comparación a un escenario sin proyecto, y por tanto elevando su costo de oportunidad con respecto al bosque en pie.

Parte 3: LOCALIZACION Y CUANTIFICACION DE LA AMENAZA DE DEFORESTACION NO PLANIFICADA

En el Perú determinar el riesgo de la deforestación futura es cada vez mas importante debido a los proyectos REDD que se vienen desarrollando en la Amazonia del país. AIDER, dentro del proceso del Contrato de Administración de la Reserva Nacional Tambopata y el parque NacionaI Bajujaja Sonene área Madre de Dios, viene desarrollando proyectos REDD que permitan evitar la deforestación y degradación de los bosques de estas Áreas Naturales Protegidas. Para este fin se han buscado nuevas metodologías para proyectar deforestación futura, y así poder determinar proyecciones futuras de deforestación de manera confiable. En la siguiente nota aclaratoria se explica, mediante una línea de tiempo, los procesos y ajustes que se realizaron a los modelos de proyección a futuro utilizados:

- a) En mayo del 2009 se realiza la primera elaboración del modelo de deforestación para una parte de Madre de Dios, con el software IDRISI ANDES – Extensión GEOMOD, obteniendo los primeros resultados de proyecciones futuras para el área trabajada. En el proceso de validación de la proyección se pudo encontrar que este proyectaba deforestación errónea, con un bajo porcentaje de similitud con la cobertura real, debido a que los agentes de deforestación que se introducían tenían valores de pesos muy correlacionados y no podían ser ajustados, por lo cual era un proceso de caja negra, debido a que la programación del software era cerrada y dura para ciertos ajustes de comportamiento de las proyecciones.
- b) En setiembre del 2009 se realizan investigaciones de otros software's para la creación de modelos para proyectar cambios de uso de suelo, logrando encontrar bibliografía acerca del uso del software Dinámica EGO, el cual daba resultados con un alto porcentaje de exactitud con coberturas reales.
- c) En octubre del 2009 se contrató al especialista Renzo Giudice Granados para una capacitación al personal del Área de Servicios Ambientales de la Asociación para la Investigación y Desarrollo Integral – AIDER, en creación de modelos de cambios de uso del suelo utilizando el software Dinamica EGO; siendo los asistentes a dicha capacitación el Ing. Percy Recavarren, el Geog. Andrés Alejandro León, el Ing. Erick García y María Azucena Angulo.
- d) Entre noviembre del 2009 y mayo del 2010, se elabora el primer modelo de deforestación futura con el Software Dinámica EGO, fragmentando en 4 regiones de referencia a la región de Madre de Dios; como el área del proyecto estaba relacionado a las Áreas Naturales Protegidas de la Reserva Nacional Tambopata y el Parque

Nacional Bahuaja Sonene, se procedió a modelar en la Región 2 y Región 3 debido a que estas dos cubrían las ANP's. Se pudo determinar un comportamiento diferente de cada agente de deforestación, en cada región de estudio, así como algunas correlaciones entre ellos, posteriormente se procedió a realizar los ajustes en los agentes de deforestación en sus pesos y calibraciones para la generación de parches nuevos y áreas de expansión. Como resultados finales se pudo obtener validaciones con un porcentaje aceptable.

- e) En setiembre del 2010, se realiza el modelo de deforestación futura fusionando las regiones 2 y 3 en una sola región de referencia, luego de realizar los procesos de ajustes en los agentes de deforestación, correlaciones entre agentes y ajustes en los parches y expansiones de áreas de deforestación, se procedió a validar el modelo obteniendo mejores resultados en los porcentajes de similitud entre las coberturas proyectadas con las coberturas reales de deforestación.
- f) En diciembre del 2010, el Gobierno Regional de Madre de Dios empieza a tener presencia en el tema y mediante la Mesa de Servicios ambientales Regional – Madre de Dios, se inicia un proceso de inducción, donde participan instituciones del Gobierno Peruano e Instituciones Externas, en el cual emprende la introducción del contenido de modelamiento del cambio del uso de suelo. Uno de los pasos a tomar fue el contactar a la Asociación para la Investigación y el Desarrollo Integral – AIDER y a la empresa Bosques Amazónicos – BAM, dos instituciones que tenían modelos elaborados para Madre de Dios con resultados confiables; dichas instituciones elaboraron un programa para la presentación de sus modelos.
- g) En enero del 2011, en el taller sobre Línea Base de Carbono en Madre De Dios organizado por el Gobierno regional de Madre de Dios, se realiza la presentación del Modelo AIDER, con las clasificaciones de deforestación elaboradas por la misma institución; así como la presentación del modelo de deforestación en proceso de elaboración realizado por BAM. Como resultado de dichas presentaciones se tomo la decisión de fusionar los Modelos de BAM y AIDER, utilizando la cobertura de deforestación elaborada por AIDER de los años 2000, 2005, 2008 y 2009. Para este proceso la institución BAM contó con el asesoramiento de la consultora Carbon Decisions International.
- h) Entre enero y abril del año 2011 se realizó la elaboración del modelo en consorcio AIDER-BAM, utilizando las coberturas de deforestaciones iniciales de AIDER, los costos de oportunidad de la carne y maíz de Madre de Dios y cambiando la región de referencia a un buffer de 50 kilómetros referente a las vías secundarias existentes. Obteniendo como resultado un porcentaje aceptable en el proceso de validación de similitud de las coberturas reales y simuladas.
- i) Entre junio y noviembre del 2011 se vio pertinente cambiar las coberturas de deforestación con las coberturas del proceso de Zonificación Ecológica Económica de Madre de Dios elaborado por el Instituto Investigación de la Amazónica Peruana - IIAP 2000, 2006 y 2008, las cual usaba el Gobierno regional y sería la deforestación que

usaría el Gobierno Regional. Modificando los agentes de deforestación, pesos y correlaciones y zonas de costos de oportunidad. Como resultado se obtuvo porcentajes de similitud muy aceptables (61.83% en ventanas de 1 x 1 pixel). El siguiente paso fue la socialización del producto final al Gobierno Regional e instituciones relacionadas con este proceso, pudiendo obtener resultados favorables de los participantes.

3.0 DETERMINACIÓN DE SI REQUIERE DE ANALISIS DE LOCALIZACIÓN

La configuración de la deforestación en la zona del proyecto responde a una deforestación analizada y de frontera, donde el análisis de la localización es requerida.

La distribución espacial de la deforestación en la Amazonía se simula con parámetros personalizados para cada subregión, como se explicó en el modelo. Estas asignan la deforestación sobre la base de sus relaciones empíricas con proximidad a las carreteras, ríos y pueblos, la zonificación de uso del suelo y características biofísicas.

3.1 PREPARACION DE CONJUNTOS DE DATOS PARA ANÁLISIS ESPACIALES

3.1.1 Requerimientos de modelos espaciales

La carretera Interoceánica mejorará la conectividad entre Brasil, Perú y Bolivia. El futuro de Madre de Dios, entonces, dependerá de sus relaciones con sus vecinos geográficos. La carretera interoceánica abrirá los mercados internacionales y facilitará el movimiento entre las regiones que históricamente fueron aisladas. También van a cambiar los incentivos económicos, las presiones políticas, las identidades y los pesos relativos de los principales agentes sociales de la región (Fernández y Morales 2009).

La carretera Interoceánica contribuirá a reducir los costos de transporte, para mejorar la comunicación, articular los mercados y promover el desarrollo de la región, además de facilitar las actividades de extracción de recursos forestales en una forma no sostenible (Fernández y Morales, 2009). La mejora de la estabilidad de las redes viales beneficiará a las industrias de transporte al contrarrestar las enormes pérdidas ocasionadas por reparaciones costosas de la carretera (Bonifaz y Urunaga 2006).

La deforestación es una consecuencia directa de la expansión de la agricultura y de la cría de ganado en pequeña y gran escala, así mismo de la minería ilegal. La mejora de la carretera hará que estas actividades sean más rentables. El comercio de tierras se encuentra actualmente como una actividad creciente a lo largo de la carretera Interoceánica ya que los precios se han duplicado y hasta triplicado. Los compradores suelen ser extranjeros, y las propuestas del gobierno regional son cultivos intensivos como la caña de azúcar y de soja (Dourojeanni 2006).

El modelo de deforestación utilizado para la Región Madre de Dios toma en consideración el desarrollo de nuevas infraestructuras de transporte para determinar la presión negativa sobre los recursos naturales.

La modelación se realizó usando el software Dinamica EGO 1.6. Este software ha sido revisado y es transparente; asimismo, incorpora conjuntos de datos espaciales que han sido documentados para explicar patrones de deforestación y están correlacionados, y es capaz de proyectar la localización de la deforestación futura. Este software opera de acuerdo a un modelo autómatas celular que presenta las siguientes características:

- Traslación homogénea: Todos los mapas se transformaron a formato raster, con una misma georreferenciación y mismo tamaño de pixel, que en este caso es de 71 m x 71 m.
- Conjunto finito de estados: En este modelo se trabajó con 02 estados, estado “Bosque” y estado “No bosque”.
- Regla de transición: Se usaron la matriz de cambio, mapas de probabilidades obtenidos a partir de los pesos de evidencia.
- Vecindad: A partir del mapa inicial (año 2000) se trabaja en un determinado número de celdas donde se calcula las transiciones para el estado siguiente. Se emplean 2 ventanas según las características de los polígonos de los cambios; cuando ocurre por expansión se usa la función “expand” y para crear un nuevo parche usa “patcher”.
- Reloj virtual de cómputo: Los datos ingresados al modelo se han dimensionado para un paso en el tiempo, que en este caso es un año.

3.1.2 Preparación de conjuntos de datos espaciales

Archivos vectoriales en formato shape (*.shp) fueron proporcionados por diferentes instituciones (véase la tabla 16) en una fase anterior del proyecto, y fueron adecuados con ArcGIS 10.0 utilizando la herramienta ArcToolbox – Analysis tools – Extract – Clip, considerando sólo las áreas de estos que se encuentran dentro del buffer de 50 kilómetros. Separando éstas, por su naturaleza, en variables categóricas y continuas.

Tabla 16. Agentes utilizados y sus respectivas Fuentes.

Variable	Fuente
Mapas de deforestación	Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana, 2011
Tipos de Tenencia de la Tierra	Dirección General Forestal y de Fauna Silvestre /Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 2010
Capacidad de Uso Mayor de la Tierra	Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana, 2011
Trazo de la Interoceánica Sur	Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones, 2010

Trazo de Vías Secundarias	Asociación para la Conservación de la Cuenca Amazónica, 2007
Valores de Fricción – costos de transporte	Stone(1998); Guimaraes y Ulh (1998); Nelson et al (1999)
Centros Poblados	Instituto Nacional de Estadística e Informática 2007
Mercados	GRADE –CSF (2009)
Mapa Geológico	Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 2010
Concesiones Forestales	Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas, 2010
Concesiones Mineras	Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 2010
Comunidades Nativas	Instituto del Bien Común 2011
Concesiones Castaña	Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas, 2010
Concesiones Reforestación	Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas, 2010
Predios Agrícolas	Programa Especial de Titulación de Tierras - PETT, 2010
Ríos	Instituto Geográfico Nacional, 2003

La investigación mostró que las siguientes categorías de variables espaciales discretas y variables espaciales continuas fueron relevantes para la localización de la deforestación como se muestra en la tabla 17:

Tabla 17. Variables utilizadas para modelación.

Capa Raster	Fuente
Áreas Naturales Protegidas	Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas
Concesiones Mineras	Instituto Geológico Minero y Metalúrgico
Cuaternario Holoceno	Instituto Geológico Minero y Metalúrgico
Concesiones Forestales	Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegida
Comunidades Nativas	Instituto del Bien Común
Concesiones de Castaña	Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegida
Concesiones de Reforestación	Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegida
Predios Agrícolas	Programa Especial de Titulación de Tierras - PETT
Distancias a Vía Interoceánica	Elaboración Dinámica EGO - Modulo Distancias Ver. Paso 3.2 Variables Continuas
Distancias a Ríos	Elaboración Dinámica EGO - Modulo Distancias Ver. Paso 3.2 Variables Continuas
Distancia a Centros Poblados	Elaboración Dinámica EGO - Modulo Distancias

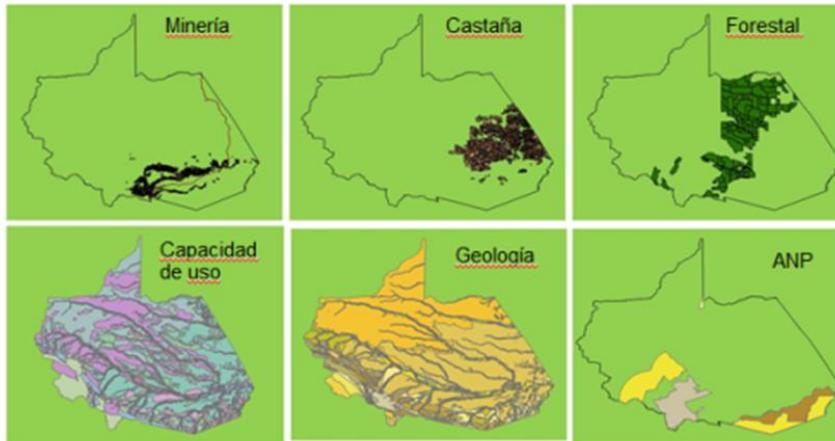
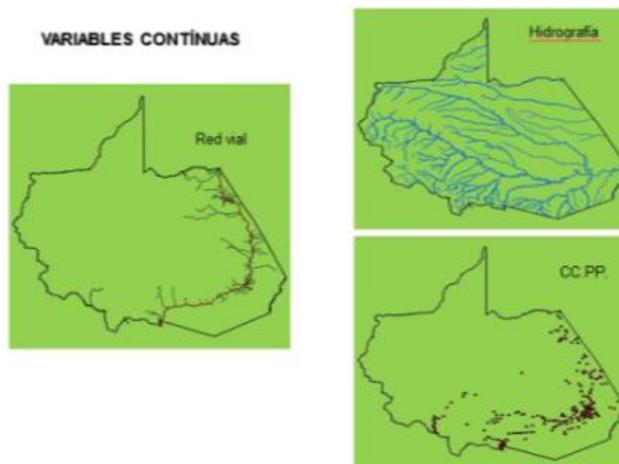
VARIABLES CATEGORICAS**VARIABLES CONTINUAS**

Figura 27. Variables espaciales utilizadas en la modelación de la deforestación

3.2 PREPARACIÓN DE MAPAS DE RIESGO DE DEFORESTACIÓN

Los mejores análisis de cambio de uso del suelo se logran cuando hay datos disponibles de cuando menos tres puntos en el tiempo. El proceso de modelación de la deforestación empieza categorizando cada mapa que servirá de insumo en este análisis, de acuerdo a sus categorías o clases, por ejemplo fisiografía, geología, pendiente, elevación, distancia de los caminos, a centros poblados, ríos navegables, etc, con cada uno de estos se crea un stack o cubo, que es el conglomerado de coberturas con las cuales se puede explicar la deforestación que ha ocurrido en un determinado periodo de tiempo. El modelo luego resume cuántas celdas de cada una de estas categorías se encuentran en áreas deforestadas entre el primer y segundo punto en el tiempo.

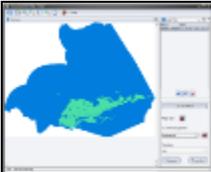
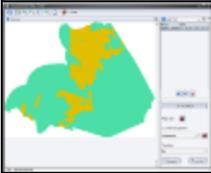
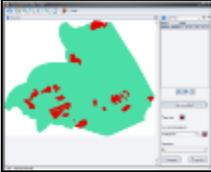
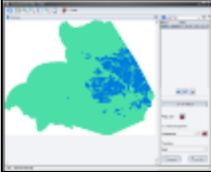
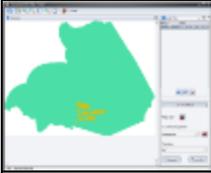
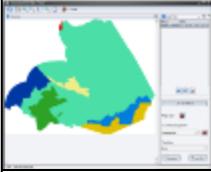
El modelo de deforestación utilizó el software Dinamica EGO versión 1.4, para proyectar la deforestación en el futuro para un periodo de 22 años. El modelo tomó en cuenta la ubicación, la cantidad, además consideró de manera paralela la construcción de nuevos segmentos de rutas basados en una combinación de atractivos (tales como la pendiente, rentabilidad de la producción agrícola y forestal, grado de interés de competencia) y el menor costo de las vías existentes hacia carreteras.

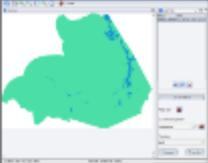
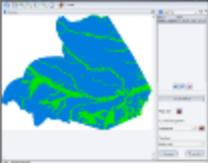
El modelo discriminó dos tipos de deforestación dependiendo de sus ubicaciones, una adyacente a la deforestación existente y otra en ubicaciones completamente nuevas. La ubicación de la nueva deforestación fue dependiente de la probabilidad de encontrar un pixel deforestado dadas ciertas variables estáticas (por ejemplo; bosques, minería, concesiones extractivas de castaña, tierras privadas, geología, vías de acceso) y variables dinámicas (distancia a las áreas previamente deforestadas, vías secundarias, distancia a centros poblados, etc.).

Para realizar el procesamiento, el modelo global de la deforestación espacial se utilizó una matriz raster de 3,757 filas por 4,866 columnas y una resolución de 71 metros. Todos los archivos *shape* de entrada se convirtieron en una matriz raster del tamaño determinado, usando ArcGIS, versión 9.3.

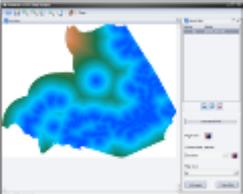
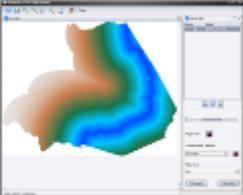
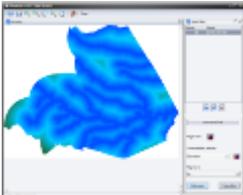
De acuerdo a su naturaleza se han determinado, variables categóricas y continuas.

Variabes Categóricas. Son aquellas cuyos valores son del tipo categórico, es decir, que indican categorías, entre estas, tenemos:

	Petitorios mineros en la región de Madre de Dios
	Concesiones forestales con fines maderables
	Comunidades nativas asentadas en la región de Madre de Dios
	Concesiones de productos forestales diferentes a la madera – castaña
	Concesiones de reforestación
	Áreas naturales protegidas – ANP – parques nacionales y reservas
	Predios agrícolas

	
	Estrato geológico cuaternario holoceno

Variables continuas. Determinadas así porque toma valores a lo largo de un continuo, esto es, en todo un intervalo de valores:

	Distancias a centros poblados
	Distancias a la carretera Interoceánica
	Distancia a los ríos navegables

Además de estas variables, se tiene la imagen raster de la deforestación de los dos periodos y la red vial secundaria. En este caso, se dispuso de las imágenes producidas por el Instituto de Investigación de la Amazonía Peruana (IIAP), realizadas en el marco del convenio interinstitucional entre el Gobierno Regional de Madre de Dios GOREMAD y el IIAP para la elaboración de la Zonificación Ecológica Económica de Madre de Dios. Para el modelamiento de la deforestación, sólo será necesario contar con la información atributiva referente a la cobertura Bosque – No bosque.

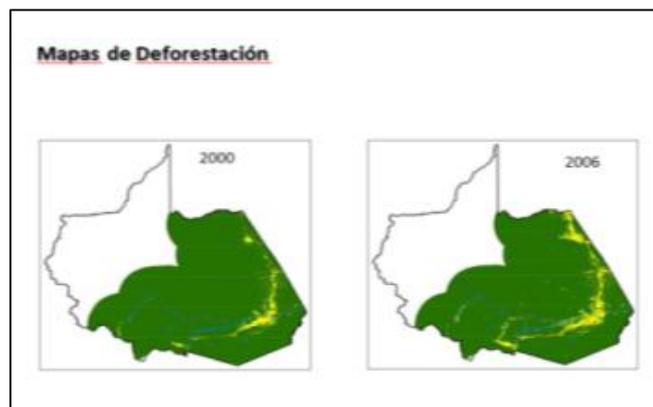


Figura 28. Mapas de escenario inicial y final del patrón de simulación

3.3 SELECCIÓN DEL MAPA DE RIESGO DE DEFORESTACION MÁS EXACTO

Calibración del modelo

Se basa en mapas de cambio para este período. Para esto se usaron mapas de deforestación del año 2000 y 2006. Con esto se tuvo un periodo de calibración de 06 años, en el cual se calculó la matriz de cambio y se evaluaron los agentes que influyen en la transición de Bosque a No bosque.

Para este proceso, es necesario una serie de pasos previos con las variables o agentes que serán introducidas al modelo; esta preparación incluye construcción de cubos o contenedores, cálculo de los pesos de evidencia de éstos, análisis de correlación de variables y finalmente, la validación estadística espacial del modelo.

Creación de Stacks o Cubos

Tanto con las variables categóricas, como con las continuas, se crean contenedores en donde cada una de las categorías es almacenada para poder ingresarlas al modelo de predicción del modelamiento de la deforestación; este proceso se hace en Dinamica EGO y simplemente es el agrupamiento de las variables para formar una unidad en el procesamiento como se aprecia en la figura 29 y 30.

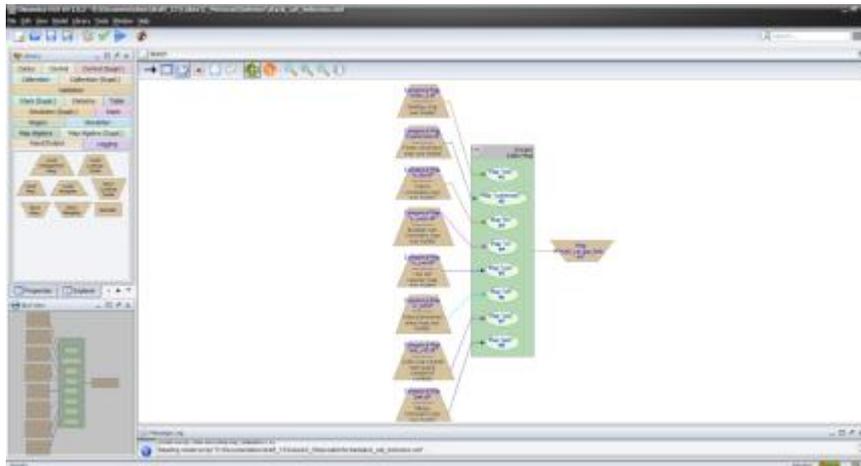


Figura 29. Creación del cubo de variables categóricas

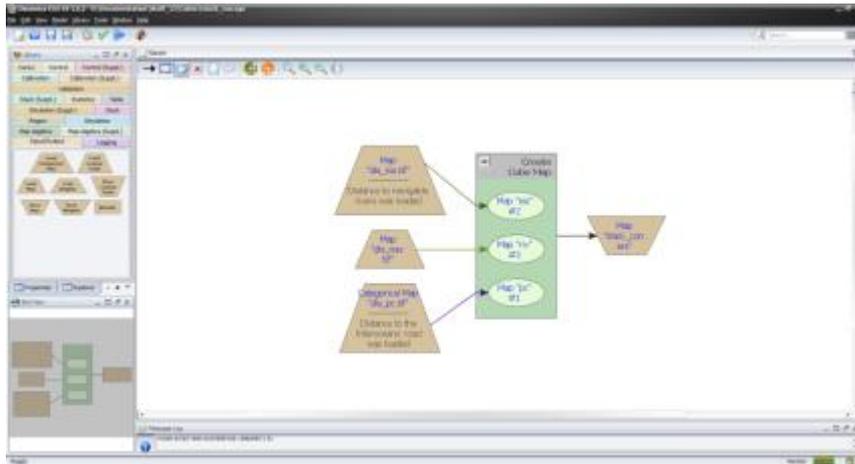


Figura 30. Creación del cubo de variables continuas

Luego de este procedimiento, ambos cubos están listos para ser ingresados en el software como insumos de análisis en el modelamiento de la deforestación, como se muestra en la figura 31.

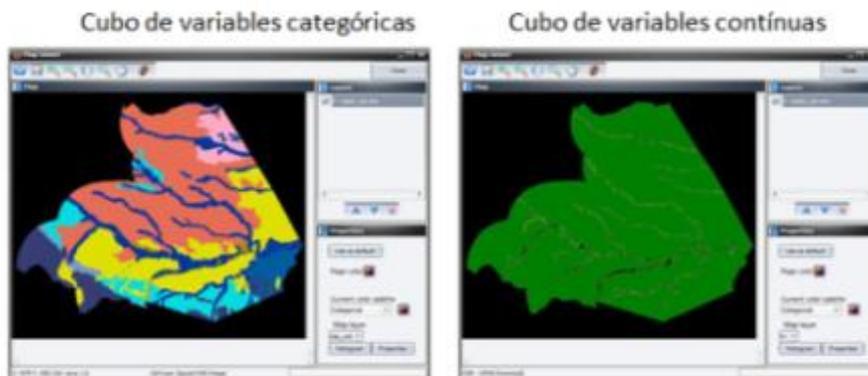


Figura 31. Introducción de agentes al Modelo

Cálculo de pesos de evidencia.

El modelo clasifica a las variables de tipo de datos continua con el fin de calcular los pesos de las pruebas, tanto para las variables categóricas como para las no categóricas. La categorización de las variables se realiza mediante la configuración del número de intervalos y el tamaño de los buffers a fin de preservar la estructura de datos. Este proceso también se realiza en Dinamica EGO como muestra la figura 32.

El enfoque de los pesos de evidencia permite combinar diferentes patrones de forma simultánea, en una única ecuación para el cálculo de probabilidad, es decir, la probabilidad de ocurrencia de las transiciones en presencia o bajo la influencia simultánea de los diferentes agentes que influyen en la transición de Bosque a No bosque, como se observa el modelo de lectura de pesos de evidencia en Dinámica EGO en la figura 33 y tabla 18.

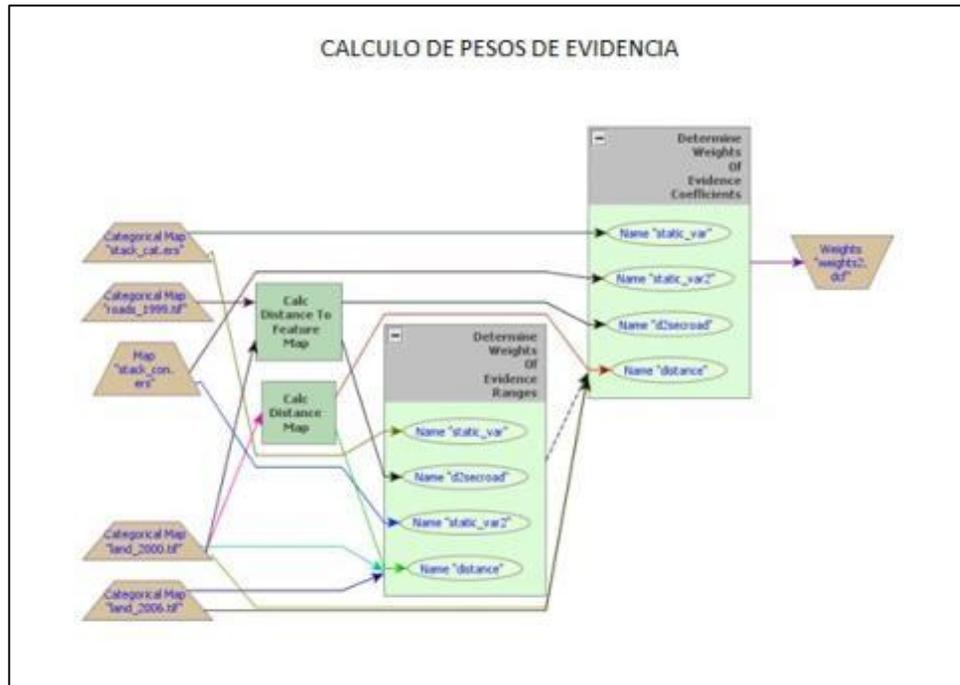


Figura 32. Cálculo de Pesos de Evidencia

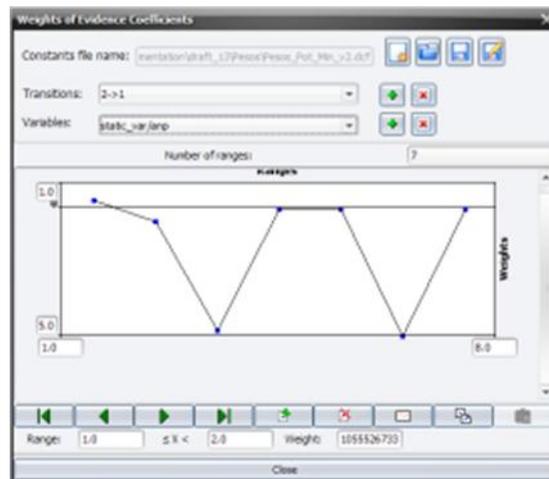


Figura 33. Modelo de lectura de pesos de evidencia en Dinámica EGO

Tabla 18. Característica de atracción de repulsión de la deforestación

Valor	Interpretación
Valor negativo (-)	Rango del agente que rechaza la transición
Valor neutro (0)	Rango del agente que es neutral
Valor positivo (+)	Rango del agente que atrae la transición

Correlación de variables.

El análisis de correlación utilizó los siguientes métodos: Chi 2, Cramers, Contingency, Entropy, Uncertainty Joint Information. De todos estos se utilizó el índice de Cramer. Se opera con valores de áreas de superposición entre diferentes categorías de dos mapas entre sí, con el fin de validar la existencia de dependencia o asociación espacial entre ambos, esta correlación se realizó con el Dinámica EGO, tal como se observa en la figura 34.

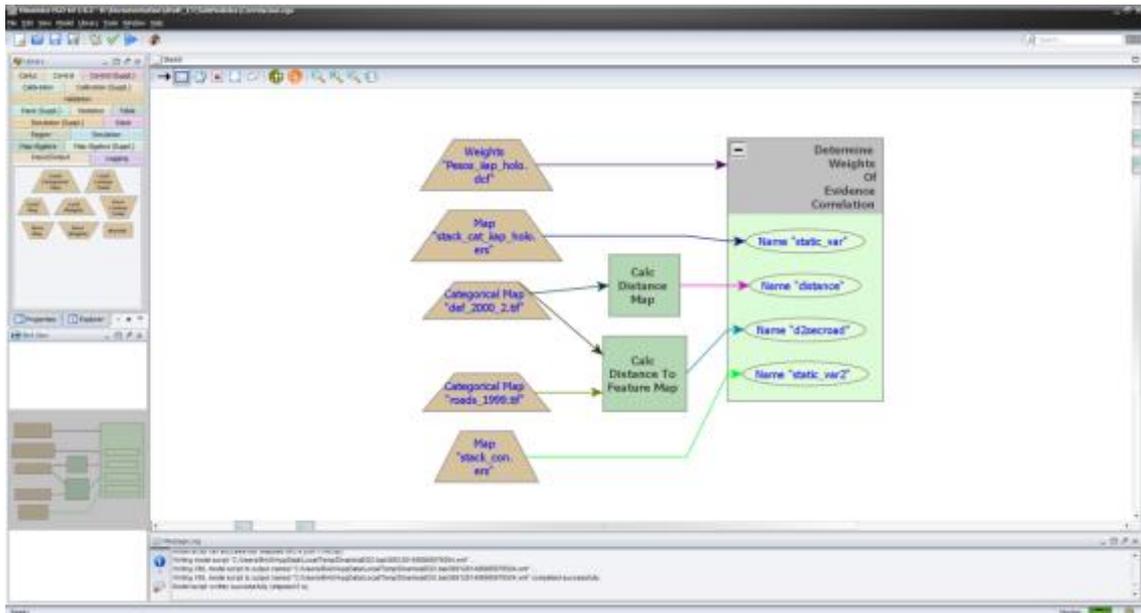


Figura 34. Correlación de variables

El único supuesto del método de pesos de evidencia es que los mapas a ser utilizados como insumos (esto es, las coberturas espaciales) sean espacialmente independientes. Un conjunto de medidas pueden ser aplicadas para determinar la validez de este supuesto, tales como el test de Cramer. Como resultado, las variables correlacionadas deben ser eliminadas o combinadas en una nueva, para incluirlas en el modelo, para lo cual se realizó una comparación pareada de todos los agentes para analizar si existen correlaciones entre ellos. Para ello nos basamos en el índice de Cramer, se determina que si el valor del coeficiente no es superior de 0,45 %, debe ser considerado como variable independiente. Este análisis fue desarrollado usando el software Dinámica EGO; las variables que califican por ser independientes se muestran en la tabla 17.

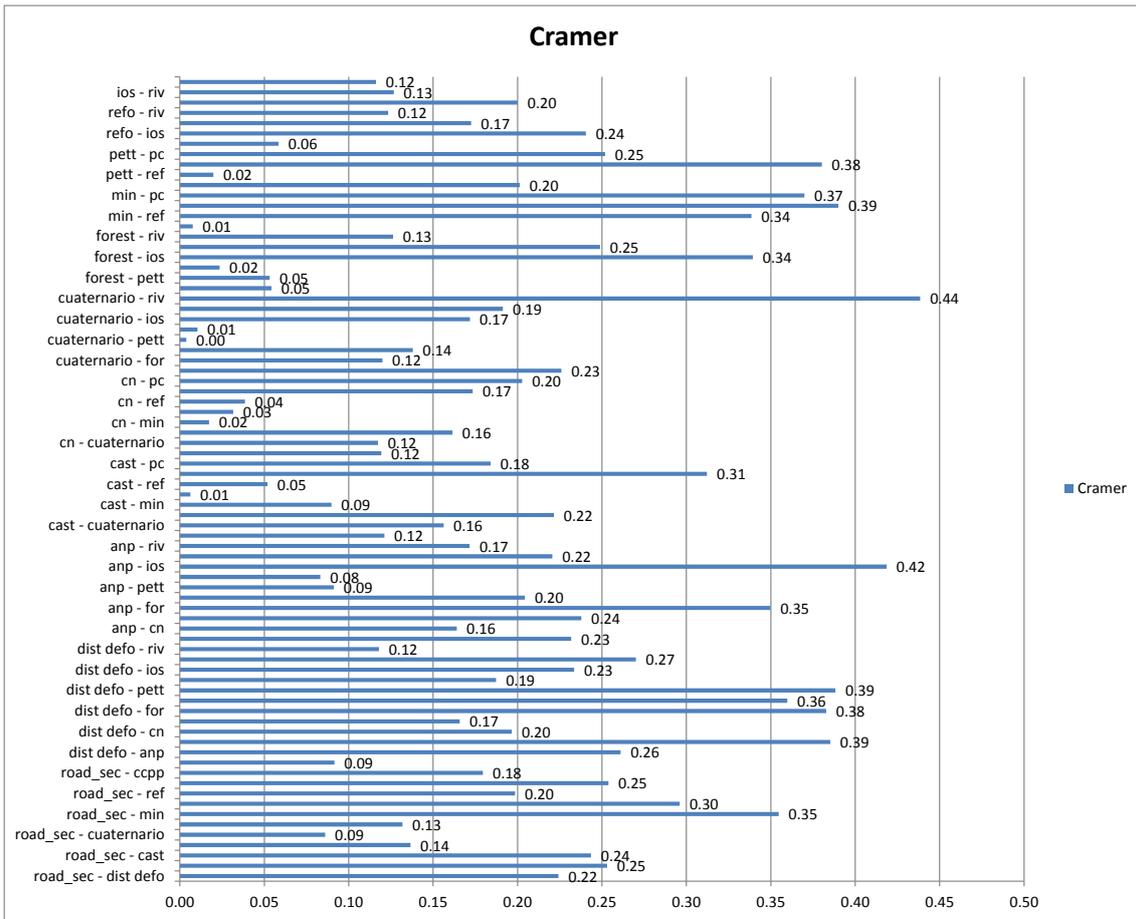


Figura 35. Variables utilizadas en el modelamiento de la deforestación

Como resultado de la modelación proyectada para los años 2010, 2015 y 2020 en el área de referencia del proyecto se aprecian los siguientes mapas:

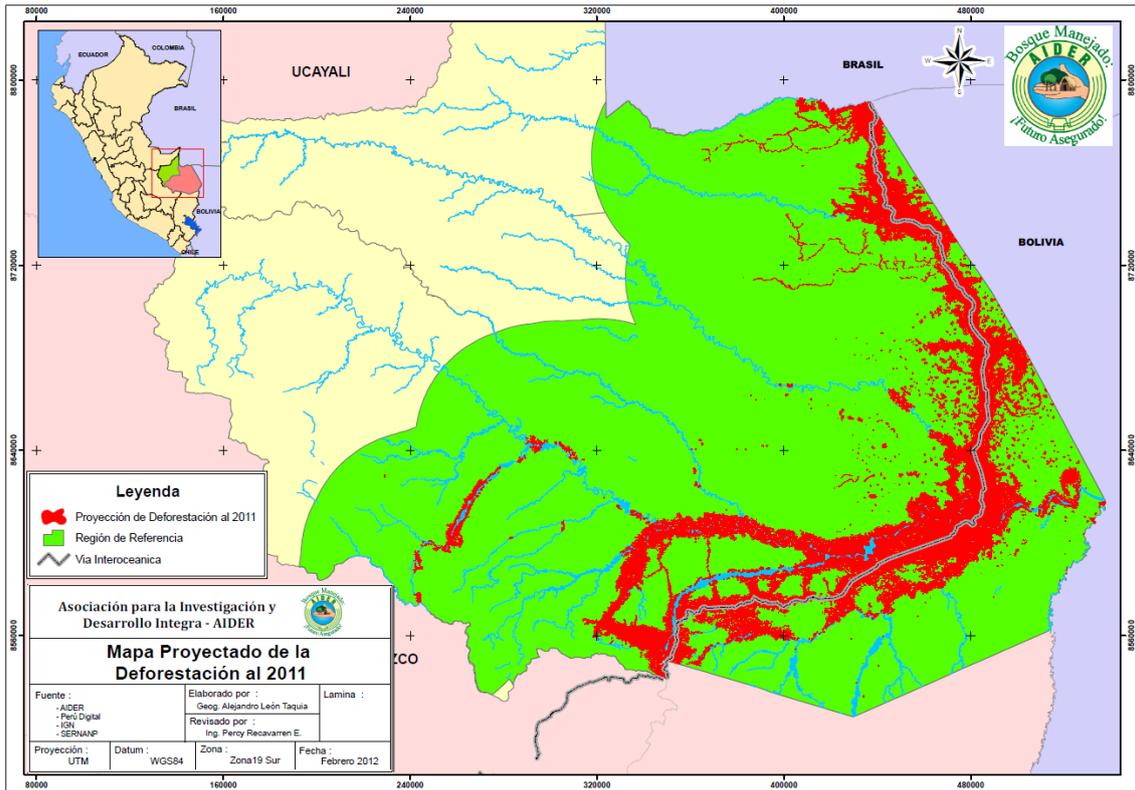


Figura 36. Mapa de deforestación proyectada al 2011

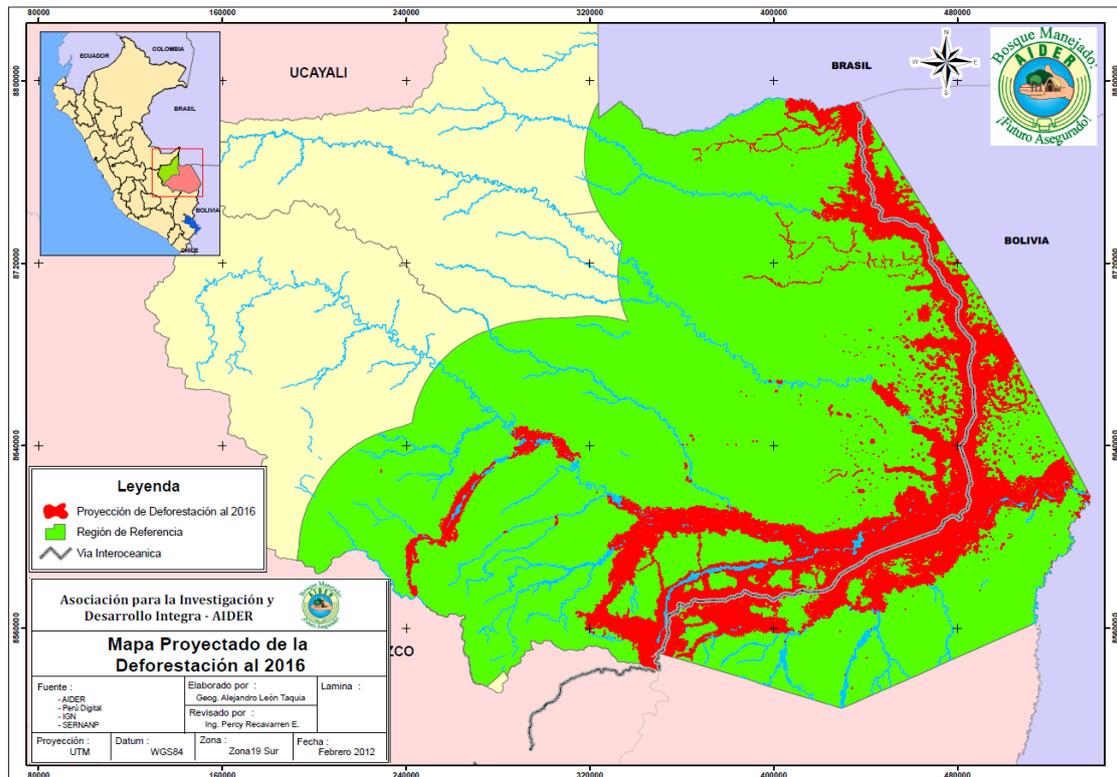


Figura 37. Mapa de deforestación proyectada al 2016

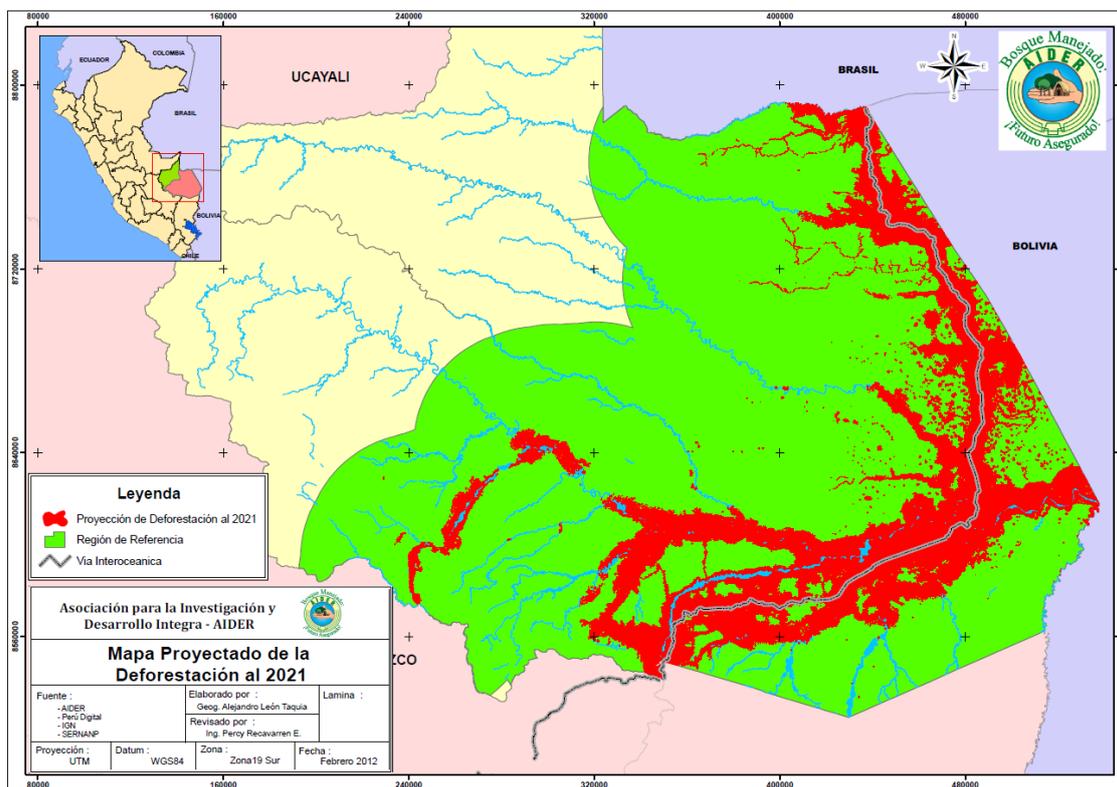


Figura 38. Mapa de deforestación proyectada al 2021

En la siguiente tabla 19 se observa la deforestación proyectada para la región de referencia y área de proyecto:

Tabla 19. Deforestación proyectada para la región de referencia y área de proyecto

Periodo	Deforestación en la región referencia (ha)*	Deforestación neta en el área de proyecto (ha)**
2012-2013	519,393	513
2013-2014	562,166	542
2014-2015	603,826	474
2015-2016	644,221	415
2016-2017	683,572	345
2017-2018	721,920	357
2018-2019	759,178	250
2019-2020	795,580	204
2020-2021	830,968	251
2021-2022	865,545	184

*La deforestación de la región de referencia se extrajo de los shapefiles adjuntos y ubicados en "Geodatabase_Shapefiles_ABRIR CON arcGIS/Modelaciones/deforestación_2010_2011, deforestación_2011_2012, deforestación_2012_2013, deforestación_2013_2014, deforestación_2015_2016, deforestación_2016_2017, deforestación_2017_2018, deforestación_2018_2019"

** La deforestación del área de proyecto se obtuvo de la intersección de los shapefiles “deforestación_2010_2011,deforestación_2018_2019” versus “Estratos_2009”

Validación

Para la validación espacial del modelo, es necesario comparar el mapa simulado con un mapa real, que en el presente caso sería la comparación del mapa de cobertura simulado para el 2008 (generado a partir del mapa real de cobertura del 2006), con el mapa de cobertura real del 2008, el modelo aplicado en el Dinamica EGO se muestra en la figura 39.

El objetivo de la validación es saber qué tan acertado es el modelo de deforestación. Por ello, se comparó la distribución espacial de la deforestación real con la simulada y se calculó el porcentaje de éxito de acuerdo a la ubicación de la deforestación en el modelo para la evaluación de la similitud, enfocándose únicamente en las áreas de cambio. En este caso, la prueba emplea una función constante del decaimiento calculado dentro de varios tamaños de ventana, el mismo que se muestra en la tabla 20.

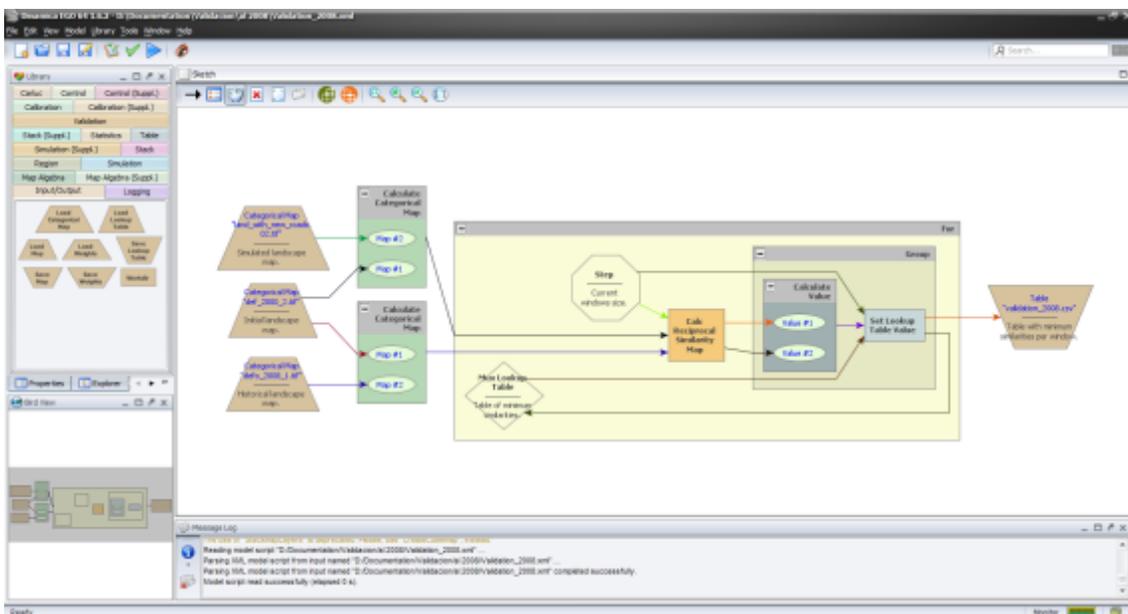


Figura 39. Modelo de validación

Tabla 20. Tamaño de ventana de validación (pixel)

Tamaño de ventana	Validación (%)
1 x 1	61.83
3 x 3	71.07
5 x 5	76.39
7 x 7	79.93
9 x 9	82.56
11 x 11	84.64

De acuerdo a la consulta realizada al responsable técnico de software Dinamica EGO Britaldo Silveira Soares Filho⁹, menciona que una modelación de la deforestación a futuro se aceptable a partir de 50% (ver anexo B, Evidencia de porcentaje de validación del modelo de deforestación proyectado) de validación, el modelo planteado para este proyecto arroja una porcentaje de validación a partir de 61.83%.

Toda la información respecto al software Dinamica EGO, el modelo y sus modelos desarrollados, los insumos como imágenes de satélite, driver, shapefiles resultados se entregó en la visita de campo a los validadores respectivos en una carpeta de nombre "PDD SIG" con tamaño de 5 Gb, por otra parte en archivo adjunto "Geodatabase_Shapefiles_ABRIR CON arcGIS.mdb/Driver_modelacion", "Geodatabase_Shapefiles_ABRIR CON arcGIS.mdb/Modelaciones", "Geodatabase_Shapefiles_ABRIR CON arcGIS.mdb/Validacion_Modelaciones", a añadir toda la información en formato shapefiles usada en los modelos de deforestación presenta línea arriba.

3.4 MAPEO DE LAS LOCALIZACIONES DE LA DEFORESTACIÓN

El siguiente paso no se realiza por ser un tipo de análisis de localización de deforestación por tipo de frontera y mosaico. De acuerdo al módulo Aprobado VCS VMD0007 Versión 1.0 Módulo Metodológico REDD: Estimación de los cambios en el carbono almacenado y emisiones de GEI por deforestación no planificada en el escenario de línea base (BL-UP), el paso 3.4 se excluye, debido que esto fue trabajado en los pasos anteriores 3.1, 3.2 y 3.3, al aplicar a una deforestación de mosaico y frontera.

La determinación de la deforestación de mosaico y frontera a la cual aplica nuestro proyecto se determinó con la interpretación de la deforestación histórica (2000, 2006 y 2008) de la región de referencia y área de proyecto, donde los patrones de deforestación fueron de frontera y mosaicos (ver shapefiles en adjunto "Geodatabase_Shapefiles_ABRIR CON arcGIS/Cobertura_Tematica/Deforestación 2000, 2006, 2008")

PARTE 4: ESTIMACIÓN DE CAMBIOS EN EL CARBONO ALMACENADO Y EMISIONES DE GEI

4.1 ESTRATIFICACIÓN DEL ÁREA TOTAL SUJETA A DEFORESTACIÓN

Para realizar la estratificación del área se utilizó una metodología basada en la interpretación visual de las imágenes de satélite Landsat, con lo que se procedió a elaborar los mapas de fisiografía y tipos de bosque.

El procedimiento seguido se detalla a continuación:

- **Búsqueda y recopilación de información**

⁹ Britaldo Silveira Soares Filho, britaldo@csr.ufmg.br Centro de Sensoriamento Remoto/Universidad Federal Minas Gerais – Brasil, www.csr.ufmg.br/dinamica

La información necesaria para esta estratificación se basó en estudios desarrollados en la zona de trabajo, respecto a la estratificación por tipos de bosque, hidrografía y ocupación del área. Se ubicaron en los registros digitales de los planes maestros de cada ANPs; asimismo, se seleccionaron las imágenes de satélite óptimas con escasas o nulas nubes y sombras, correspondientes al año 2008 y sin fallas de origen. Las imágenes de satélite Landsat en formato Geotiff usadas fueron:

- 02/69, del 14 de mayo de 2008
- 03/68, del 05 de mayo de 2008
- 03/69, del 10 de setiembre de 2008

- **Cartografía digital**

- IGN-MINEDU, hidrografía, centros poblados de la Carta Nacional Digital 1/100 000.
- INRENA. Mapa Forestal del Perú año 2000, escala: 1/250 000.
- INRENA, Mapa de Tipos de Bosque para Bosque de Producción Permanente año 2000. escala 1/100 000 (no publicado).
- IIAP, Mapa de Deforestación de Madre de Dios año 2008, escala 1/100 000.
- IIAP, Mapa de Sistemas Ecológicos año 2000, escala: 1/250 000.

- **Procesamiento digital de imágenes de satélite**

Se realizó la interpretación visual en pantalla para los temas de deforestación, fisiografía y tipos de bosque. Las imágenes de satélite se transformaron de formato Geotiff a formato Img para su procesamiento en el software ENVI 4.7¹⁰. Luego se realizó la composición de las imágenes en tres bandas multispectrales 5, 4, 3 que tienen una resolución espacial de 30 metros, esta combinación de bandas permite discriminar bien las diferentes clases de vegetación y agua.

Con las imágenes multispectrales se realizaron los cortes de las imágenes empleando AOI's (Area of Interest) que delimitan el área de interés. Posteriormente, se realizó la corrección geométrica de las imágenes Landsat teniendo como base la hidrografía digital de la Carta Nacional del IGN-MINEDU, escala 1/100 000. Las imágenes fueron trabajadas en Proyección UTM, Zona 19 y con el Datum WGS 84. Cabe indicar que el método de re muestreo¹¹ empleado para la corrección geométrica de las imágenes, fue del "Vecino más Cercano", porque transfiere los valores originales sin promediarlos y conserva la radiometría original, utilizando además la Interpolación bilineal. Posteriormente, se procedió a realzar las sub escenas utilizando la desviación estándar localizada, que consiste en seleccionar una ventana de la sub escena que contenga la mayor variabilidad de valores de reflectancia para luego aplicar este realce a toda la sub-escena. Con las sub-escenas multispectrales se procedió a elaborar el mosaico de imágenes para toda el área de trabajo, evitando en lo posible el contenido de nubes en él.

¹⁰ Software ENVI facilita la combinación de bandas. Se probó la mejor combinación para diferenciar las asociaciones vegetales

¹¹ El método del remuestreo es una función algorítmica del programa ENVI

- **Ajuste de los límites de las áreas de interés y actualización de la red hidrográfica de los ríos polígonos**

Una de las aplicaciones de las imágenes de satélite, es la actualización de la cartografía base y temática. En este sentido, las imágenes de satélite corregidas geoméricamente, con base en la hidrografía de la Carta Nacional Digital¹² a escala 1/100 000 y realizadas, sirvieron para realizar la actualización de los cursos de los ríos principales y secundarios (ríos polígonos) que se observan en estas imágenes a una escala de 1/100 000.

- **Creación de los archivos temáticos en ambiente SIG**

Se crearon dos archivos en formato shapefile de entidades tipo polígono que contiene las unidades de deforestación y tipos de bosque, respectivamente. Se llenó la base de datos interna con los atributos correspondientes a cada tipo de unidad (se describen en el anexo A), así como también se actualizaron los campos Área, Hectárea y Perímetro.

La estructura de la base de datos, para los archivos de tipos de bosque, se presenta en las tablas 21 y 22, respectivamente:

Tabla 21. Estructura de la base de datos interna de tipos de bosque

Nombre del campo	Descripción	Tipo	Longitud	Decimales
Shape	Tipo de entidad representada en archivo	Field_shapepoly	8	0
Codfio	Código de la clase fisiográfica	Carácter	10	0
Fisio	Código de la clase fisiográfica	Carácter	100	0
Codveg	Nombre de la clase forestal	Carácter	20	0
Vegeta	Nombre de la clase forestal	Carácter	100	0
Fisioveg	Código de las clases fisiográfica - forestal	Carácter	10	0
Área	Superficie en m del estrato forestal	Numérico	16	3
Perímetro	Perímetro en metros del estrato forestal	Numérico	16	3
Hectárea	Superficie en hectáreas del estrato forestal	Numérico	16	3

Tabla 22. Estructura de la base de datos interna del tema de deforestación

¹² Esta información data de la década del 70, y en algunos casos del 80 y como es conocido, el curso de los ríos en la Amazonia varía de año a año

Nombre del campo	Descripción	Tipo	Longitud	Decimales
Shape	Tipo de entidad representada en archivo	Field_shapepoly	8	0
Código	Código de la clase de uso de la tierra	Carácter	10	0
Clase	Nombre de la clase de uso de la tierra	Carácter	50	0
Área	Superficie en m ² del estrato de uso de la tierra	Numérico	16	3
Perímetro	Perímetro en metros del estrato de uso de la tierra	Numérico	16	3
Hectárea	Superficie en hectáreas del estrato de uso de la tierra	Numérico	16	3

- **Interpretación visual**

Es así que, con todas las sub escenas listas y la cartografía digital seleccionada, se procede a realizar la interpretación visual, en pantalla, de las clases de fisiografía, tipos de bosque y clases de deforestación a una escala de 1/100 000, o menor cuando se requiere observar mayor detalle en las imágenes. Para ello se utilizó el software ArcGIS 9.3 – ArcView.

Un criterio importante para la clasificación fue el Fisiográfico Florístico que se refiere al conjunto de características fisiográficas que se utilizan para separar los paisajes en grupos fisiográficos, de tal forma que existe una correspondencia entre tipo fisiográfico y tipo de bosque. INRENA manifiesta que en el criterio fisiográfico-florístico existe una relación directa entre las formas fisiográficas y la estructura y fisonomía del bosque, por lo que, la delimitación de las formas fisiográficas homogéneas nos permite indirectamente estar separando tipos de bosque, en función de lo anterior se establece como primer nivel de trabajo la estratificación de la fisiografía. En este criterio los estratos fisiográficos se clasifican por las características propias del terreno tales como altura relativa, grado de ondulación y pendiente.

La interpretación de las imágenes de satélites “Landsat” tuvo una comprobación y validación de campo de los estratos que no tienen una definición clara, los mismos que fueron confrontados y validados con visitas y registros de campo.

Las unidades o estratos de Bosque identificados según los criterios del INRENA en el área del proyecto y el cinturón de fugas, se presentan en la figura 40 y tabla 23.

Tabla 23. Estratificación del área de estudio

Estratos Fisiográficos
Actividad agropecuaria/bosque secundario
Aguajal mixto
Aluvial inundable
Deforestación
Ríos
Terraza baja
Terraza disectada Suave

Fuente: Equipo Técnico AIDER – 2010

- **Descripción de las unidades interpretadas**

- a) **Actividad agropecuaria/Bosque secundario(A/BS):** Clase mixta compuesta por Bosques secundarios y parcelas de agricultura que por sus dimensiones pequeñas para su interpretación individual se decidió agruparlas. Esta clase mixta, se presenta en zonas con intensa actividad agrícola. Se caracteriza por constituir una mezcla de áreas con bosque secundario (purma) y áreas con cultivos agrícolas, cuyo grado de asociación va en proporción de 50%-50% hasta 80%-20%, correspondiendo siempre los mayores valores al bosque secundario.
- b) **Aguajal mixto (Abm):** Es uno de los bosques más típicos y homogéneos de la Amazonía que se encuentra en el bosque subtropical y tropical húmedo; hallándose preferentemente en zonas donde el régimen de lluvias es fuerte y donde el suelo tiene depresionadas y deficiencias de drenaje. El nombre de Aguajal proviene por la constitución del bosque que está poblado mayormente por el Aguaje (*Mauritia* sp.) que es una palma de la cual se extraen frutos comestibles que tienen un alto porcentaje de aceite. La abundancia de la especie Aguaje puede variar entre 25 a 30 individuos por hectárea (Malleux 1982).
- c) **Bosque Aluvial inundable o inundado (BAi):** Son bosques que se desarrollan sobre terrenos planos o depresionados localizados en áreas adyacentes al curso de ríos grandes con mal drenaje (por una depresión del nivel de suelo o por constitución misma del suelo), acumulando una gran cantidad de agua en la temporada de lluvias, por almacenamiento directo de agua precipitada o por acumulación del agua de escorrentía y precolación de zonas más altas, y están conformados por materiales aluviónicos recientes. En este tipo de bosque se pueden encontrar sub-tipos de bosque o asociaciones de vegetación como bosque ribereño, aguajal, bosque con aguajal, pacal, bosque con paca, pantano, y bosques de diferente vigor (diferentes niveles de desarrollo de dosel).

- d) Deforestación (D):** Son áreas donde se ha removido la cobertura vegetal para la instalación de centros poblados, caminos, por causa de la extracción minera o cualquier nueva infraestructura.
- e) Rios (R):** Cursos de agua que se desplazan a lo largo del área de estudio y que se encuentran en diferentes tamaños.
- f) Bosque de Terraza baja (BTb):** Este bosque se desarrolla sobre terrenos localizados generalmente después de la zona aluvial inundable, con una altura relativa sobre el nivel del río menor a 10 metros, relativamente planos con algunas depresiones, drenaje de regular a malo. Se pueden encontrar sub-tipos como bosques de diferente vigor, bosque con paca y pacal.
- g) Bosque de Terraza disectada suave (BTdl):** Es un bosque que se ha formado a partir de bosques de terrazas altas, que han sido sectadas a través de los años por el cauce de quebradas, simulando en la actualidad un área de ligera a moderadamente colinosa, por lo general circundan a terrazas altas, de donde se inician las quebradas que sectan estas terrazas. Presentan una topografía que va de suave a medianamente accidentada con pendientes que están en un rango de 10 a 60%. En este tipo de bosque se pueden encontrar sub-tipos como bosques de diferente vigor, bosque con paca y pacal.

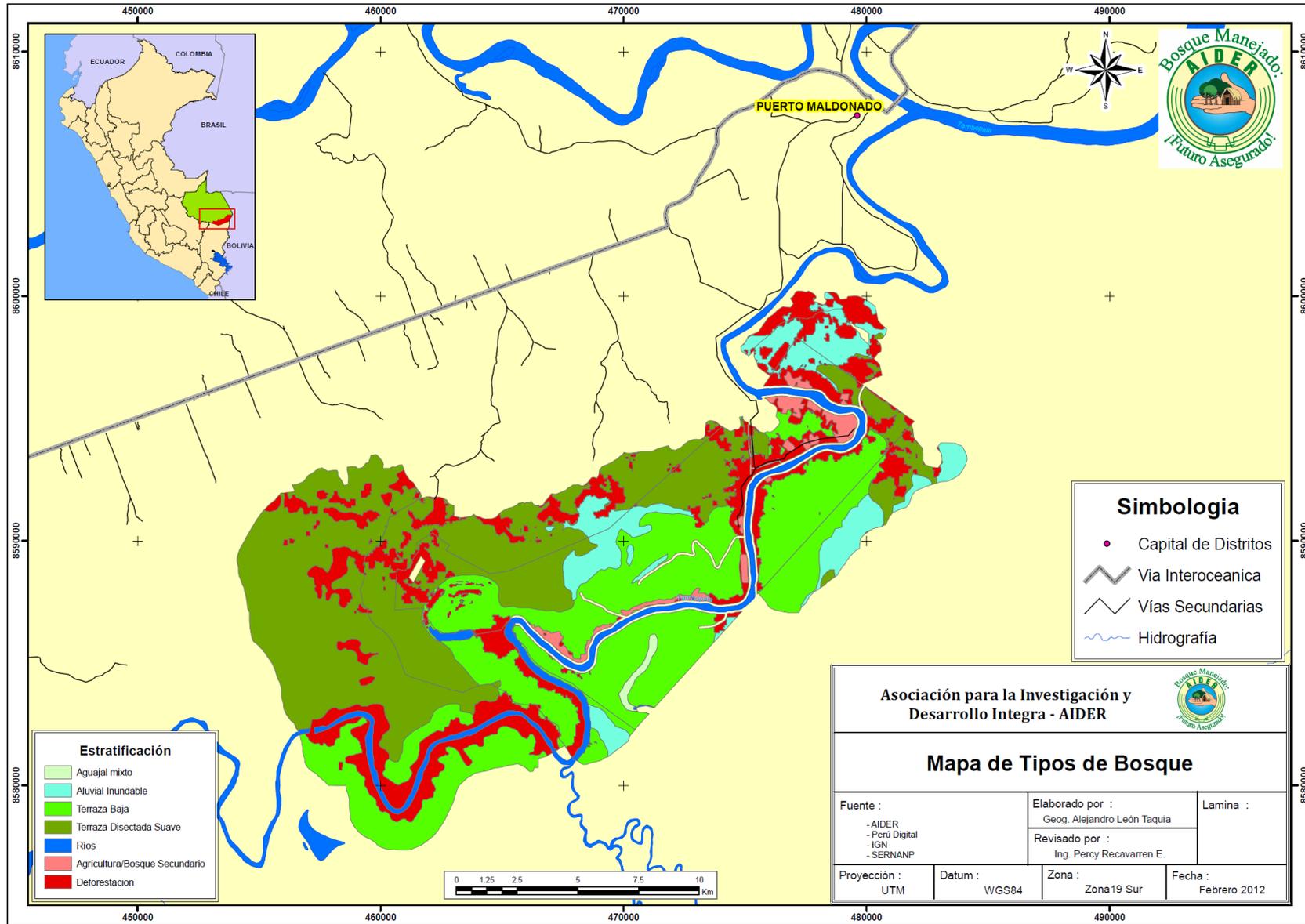


Figura 40 Mapa de estratificación del área de estudio

Con los resultados de la deforestación proyectada y la estratificación del área del proyecto, se tiene como resultado la deforestación proyectada por años y estratos, como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 24. Deforestación proyectada por estratos del área de proyecto

N°	Años proyectados	Aguajal mixto		Aluvial inundable		Terraza baja		Terraza disectada suave		Totales	
		Deforestación neta anual (ha)	tCO2-e	Deforestación neta anual (ha)	tCO2-e	Deforestación neta anual (ha)	tCO2-e	Deforestación neta anual (ha)	tCO2-e	Deforestación neta anual (ha)	tCO2-e
1	2012-2013	3.7	3,251	60	41,391	423	286,469	26	14,605	513	345,716
2	2013-2014	6.0	5,359	52	35,678	445	300,948	40	22,398	542	364,384
3	2014-2015	7.3	6,528	33	23,147	377	254,913	57	31,760	474	316,348
4	2015-2016	5.8	5,128	35	24,358	292	197,965	82	45,505	415	272,956
5	2016-2017	6.7	5,974	56	38,800	249	168,740	33	18,325	345	231,838
6	2017-2018	4.8	4,290	37	25,801	256	173,575	59	32,667	357	236,333
7	2018-2019	7.7	6,848	8	5,639	199	134,418	35	19,656	250	166,560
8	2019-2020	0.6	496	22	15,155	135	91,725	46	25,571	204	132,947
9	2020-2021	0.3	236	20	13,860	157	106,289	74	41,055	251	161,440
10	2021-2022	0.9	837	13	8,799	111	75,310	59	32,840	184	117,786

Esta tabla 24, se extrajo del archivo adjunto “Hoja de calculo-LINEA BASE-Proyecto - CCNN Infierno. Xls/hoja – Tabla 24”

4.2 ESTRATIFICACIÓN DE CARBONO ALMACENADO Y CAMBIOS EN EL CARBONO ALMACENADO POR ESTRATO

4.2.1 Carbono almacenado en el bosque

Se ha establecido los contenidos de carbono para cada estrato del área del proyecto y cinturón de fugas de acuerdo a los métodos descritos en los módulos de reservorios de carbono.

$$C_{BSLi} = C_{AB-tree,i} + C_{BB-tree,i} + C_{AB-nom-tree,i} + C_{BB-nom-tree,i} + C_{DW,i} + C_{II,i} + C_{SOC,i}$$

Dónde:

C_{BSLi} : carbono almacenado en todos los reservorios de carbono en el estrato de bosque i; tCO₂-e ha⁻¹

$C_{AB-tree,i}$: carbono almacenado en la biomasa aérea arbórea en estrato i; tCO₂-e ha⁻¹

$C_{BB-tree,i}$: carbono almacenado en la biomasa subterránea arbórea en el estrato i; tCO₂-e ha⁻¹

$C_{AB-nom-tree,i}$: carbono almacenado en la biomasa aérea no arbórea en el estrato i; tCO₂-e ha⁻¹

$C_{BB-nom-tree,i}$: carbono almacenado en la biomasa subterránea no arbórea en el estrato i; tCO₂-e ha⁻¹

$C_{DW,i}$: carbono almacenado en la madera muerta en el estrato i; tCO₂-e ha⁻¹

$C_{II,i}$: carbono almacenado en la hojarasca en el estrato de bosque i; tCO₂-e ha⁻¹

$C_{SOC,i}$: carbono almacenado en el carbono orgánico del suelo en el estrato de bosque i; tCO₂-e ha⁻¹

i: 1,2,3,... M estratos

Para este trabajo sólo se consideró el carbono almacenado en la biomasa aérea, subterránea, hojarasca y carbono orgánico del suelo para cada estrato. Se realizó la exclusión de los otros reservorios de acuerdo a los siguientes criterios:

Madera muerta: según VCS AFOLU, este reservorio es opcional en el caso de actividades REDD.

Este reservorio es menor en el escenario sin proyecto que en el escenario con proyecto, por lo cual se le excluye de acuerdo a la metodología utilizada (REDD-MF). En el escenario sin proyecto (post-deforestación), tanto en el caso de cambio de uso del suelo a actividades agropecuarias como a minería aurífera, la madera talada es quemada hasta descomponerse casi por completo; por tanto, habrá mayor cantidad de carbono almacenado en el reservorio de madera muerta en el escenario con proyecto, en el cual el bosque permanecerá en pie y se mantendrá la dinámica natural del bosque.

Productos de madera: según VCS AFOLU, este reservorio debe ser incluido cuando las actividades del proyecto puedan reducir significativamente el reservorio, y podría ser incluido cuando las actividades del escenario de

referencia puedan reducir significativamente el reservorio. Según la metodología utilizada (REDD-MF), este reservorio será incluido si es mayor en el escenario de referencia que en el escenario con proyecto y significativo, de otro modo puede ser omitido conservadoramente; es obligatorio cuando el proceso de deforestación involucra la extracción de madera para mercados comerciales.

La deforestación que se presenta en el área del proyecto y el cinturón de fugas no incluye la extracción previa inmediata de maderas de alta durabilidad.

En el área del proyecto no se produce extracción legal de madera con destino a mercados comerciales, puesto que se trata de Áreas Naturales Protegidas. La cantidad de madera extraída ilegalmente del área del proyecto y que termina en productos maderables de larga duración puede ser considerada no significativa, debido al alto porcentaje de pérdida de madera que produce el aserrado practicado por los extractores ilegales (uso de motosierra) y a la baja densidad de árboles comerciales por hectárea.

Se ha estimado el carbono que queda almacenado en productos de madera extraídos ilegalmente del área del proyecto, en base a volúmenes típicos de árboles comerciales y rendimientos de aserrío probables que generen la menor cantidad posible de emisiones. Se obtuvo un estimado de 6,22 tCO₂-e/ha que terminan almacenados en el reservorio de productos de madera de larga duración, cantidad que puede considerarse no significativa.

De acuerdo a la exclusión de los reservorios se desarrolló la fórmula establecida por el modulo:

Estrato aguajal mixto

$$C_{BSLi} = C_{AB-tree,i} + C_{BB-tree,i} + C_{AB-nom-tree,i} + C_{BB-nom-tree,i} + C_{DW,i} + C_{II,i} + C_{SOC,i}$$

$$C_{BSLi} = 109.99 + 38.45 + 0 + 0 + 0 + 1.05 + 93.14$$

$$C_{BSLi} = 242.63 \text{ tC/ha}$$

Estrato aluvial inundable

$$C_{BSLi} = C_{AB-tree,i} + C_{BB-tree,i} + C_{AB-nom-tree,i} + C_{BB-nom-tree,i} + C_{DW,i} + C_{II,i} + C_{SOC,i}$$

$$C_{BSLi} = 114.87 + 35.31 + 0 + 0 + 0 + 2.06 + 36.20$$

$$C_{BSLi} = 188.45 \text{ tC/ha}$$

Estrato terraza baja

$$C_{BSLi} = C_{AB-tree,i} + C_{BB-tree,i} + C_{AB-nom-tree,i} + C_{BB-nom-tree,i} + C_{DW,i} + C_{II,i} + C_{SOC,i}$$

$$C_{BSLi} = 121.10 + 31.69 + 0 + 0 + 0 + 1.56 + 30.28$$

$$C_{BSLi} = 184.63 \text{ tC/ha}$$

Estrato de terraza disectada suave

$$C_{BSLi} = C_{AB-tree,i} + C_{BB-tree,i} + C_{AB-nom-tree,i} + C_{BB-nom-tree,i} + C_{DW,i} + C_{II,i} + C_{SOC,i}$$

$$C_{BSLi} = 98.61 + 24.73 + 0 + 0 + 0 + 3.43 + 24.90$$

$$C_{BSLi} = 157.67 \text{ tC/ha}$$

Tabla 25. Carbono almacenado en el bosque

Estratos	$C_{AB-tree,i}$	$C_{BB-tree,i}$	$C_{AB-nom-tree,i}$	$C_{BB-nom-tree,i}$	$C_{DW,i}$	$C_{II,i}$	$C_{SOC,i}$	C_{BSLi}
Aguajal Mixto	109.99	38.45	0	0	0	1.05	93.14	242.63
Aluvial Inundable	114.87	35.31	0	0	0	2.06	36.20	188.45
Terraza Baja	121.10	31.69	0	0	0	1.56	30.28	184.63
Terraza disectada suave	98.61	24.73	0	0	0	3.43	24.90	151.67

Esta tabla 25, se extrajo del archivo adjunto "Hoja de cálculo-LINEA BASE-Proyecto - CCNN Infierno. Xls/hoja – Tabla 25"

4.2.2 Estimación de carbono almacenado post-deforestación

De acuerdo a la metodología, se ha utilizado la opción promedio histórico ponderado al área, para determinar los contenidos de carbono post deforestación.

Para la estimación de la post deforestación se consideró como estratos a la actividad agropecuaria, actividad minera, áreas urbanas y carreteras, como se describe en el siguiente proceso:

- Se consideró la situación post deforestación de las áreas deforestadas en Madre de Dios. Estos datos fueron obtenidos del estudio realizado en el año 2005 a través del Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas (SINAMPE)¹³. Este estudio fue realizado para 13 Áreas Naturales Protegidas del corredor Yanachaga-Chemillen a Bahuaja Sonene, el cual analiza diferentes estratos post deforestación para estas ANPs involucrando a sus respectivas zonas de amortiguamiento.
- En el referido estudio se analizan los diferentes usos de suelo específicos para la zona de amortiguamiento de la Reserva Nacional Tambopata y el Parque Nacional Bahuaja Sonene, del cual hemos tomado los datos. En este estudio se analizan usos de suelo para el 2000 y 2005.

¹³ INRENA *et al.* (2005). Hacia un sistema de monitoreo ambiental remoto estandarizado para el SINAMPE Piloto IV

Tabla 26. Uso de suelo en la zona de amortiguamiento Bahuaja/Tambopata¹⁴

Uso del suelo	Superficie (ha)		Cambio en el periodo 2000-2005	
	2000	2005	ha	%
Actividad agropecuaria	31 343	37 968	6 625	21,1
Actividad minera	499	1 371	872	174,7
Áreas urbanas	20	35	15	75,0
Campos de aterrizaje		12	12	
Carreteras	497	644	147	29,6
Total	32 359	40 030	7 659	

- En base a las áreas (ha) de cada tipo de suelo para el 2005, calculamos el porcentaje de cada tipo uso de suelo

Tabla 27. Usos de suelo

Usos de suelo	% uso (2005)
Actividad agropecuaria	94.849
Actividad minera	3.425
Área urbana	0.087
Campos de aterrizaje	0.030
Carreteras	1.609

Teniendo los datos de usos de suelo post deforestación se determinó la clase de cobertura vegetal para cada uso de suelo. Para el caso del uso de suelo agropecuario que involucra diferentes tipos de cobertura tomamos información del Mapa de deforestación de la Amazonia peruana¹⁵ de la que se tiene información específica para el departamento de Madre de Dios.

¹⁴ En: Hacia un sistema de monitoreo ambiental remoto estandarizado para el SINAMPE Piloto IV (tabla 9, pág. 41)

¹⁵ CONAM; INRENA. 2005. Memoria descriptiva del Mapa de deforestación de la Amazonia peruana - 2000

Tabla 28. Superficie de clases de uso de la tierra acumuladas al año 2000 por departamentos.¹⁶

Departamentos	Superficie (ha)					TOTALES
	Agricultura (A)	Pastos (P)	Bosque Secundario (BS)	Bosque Secundario/Agricultura (BS/A)	Áreas sin vegetación (SV)	
San Martín	136 926,83	73 695,08	390 384,10	718 521,55	8 140,96	1 327 668,52
Amazonas	172 470,85	364 750,45	192 009,09	246 142,16	26 094,63	1 001 467,16
Loreto	130 633,51	25 297,67	355 897,72	420 223,42	13 538,29	945 590,61
Junín	24 588,81	59 687,59	116 824,74	531 657,92	1 513,67	734 272,72
Ucayali	25 356,29	117 810,88	213 223,08	265 194,31	5 479,85	627 064,40
Huanuco	69 458,09	78 094,93	184 029,49	267 860,15	1 177,77	600 620,43
Cusco	13 937,51	161 713,42	246 736,28	114 620,39	593,50	537 601,10
Cajamarca	69 353,30	103 697,37	84 290,69	262 042,14	646,95	520 030,46
Pasco	2 823,65	38 874,31	81 421,56	178 408,08	480,03	302 007,62
Madre de Dios	21 860,64	60 100,97	71 432,44	42 884,80	7 599,95	203 878,80

La clase de uso de suelo que se extrajeron para el estrato agropecuario serian: agricultura, pasto, bosque secundario, bosque secundario /Agricultura

Tabla 29. Usos del suelo y cobertura vegetal

Usos	Cobertura vegetal	ha	%
Agropecuario	Agricultura	21860.64	10.72
	Pasto	60100.97	29.48
	Bosques secundarios	71432.44	35.04
	Bosques secundarios/Agricultura	42884.8	21.03
Otros usos (minera, urbano, aterrizaje)	Área sin vegetación	7599.95	3.73
	Total	203878.8	100.00

Se calculó los porcentajes de cobertura de vegetación los usos de suelo agropecuarios obteniéndose los resultados que se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 30. Cobertura de vegetación del uso de suelo agropecuario

Coberturas de vegetación del Uso de suelo agropecuario	ha	%
Agricultura	21860.64	11.1375423
Pasto	60100.97	30.6201967
Bosques secundarios	71432.44	36.3933455
Bosques secundarios/Agricultura	42884.8	21.8489155
Total	196278.85	100

¹⁶ En: Memoria descriptiva del Mapa de deforestación de la Amazonia peruana – 2000 (cuadro 12, pág. 60)

Tabla 31. Estratos post deforestación

Estratos Post deforestación	Agricultura	Pasto	Bº secundario	Bº secundario/ Agri	Suelo sin cobertura vegetal
Áreas Agropecuaria	11.14	30.62	36.39	21.85	100
Áreas Minera	0	0	0	0	100
Áreas Urbanas	0	0	0	0	100
Carreteras	0	0	0	0	100

Para mayor detalle revisar la hoja de calculo-Post-desforestacion.xls, el cual fue vinculado a la hoja de cálculo-LINEA BASE Y CASO DEL PROYECTO. Xls.

$$C_{\text{post},i} = C_{\text{AB-tree},i} + C_{\text{BB-tree},i} + C_{\text{AB-no-mtree},i} + C_{\text{BB-no-mtree},i} + C_{\text{DW},i} + C_{\text{II},i} + C_{\text{SOC,PD-BSLi}}$$

Dónde:

$C_{\text{post},i}$: contenido de carbono en todos los reservorios en el estrato post-deforestación i ; tCO₂-e ha-1

$C_{\text{AB-tree},i}$: contenido de carbono en la biomasa aérea arbórea en el estrato i ; tCO₂-e ha-1

$C_{\text{BB-tree},i}$: contenido de carbono en la biomasa subterránea arbórea en el estrato i ; tCO₂-e ha-1

$C_{\text{AB-nom-tree},i}$: contenidos de carbono en la vegetación aérea no arbórea en el estrato i ; tCO₂-e ha-1

$C_{\text{BB-nom-tree},i}$: contenido de carbono en la vegetación subterránea no arbórea en el estrato i ; tCO₂-e ha-1

$C_{\text{DW},i}$: contenido de carbono en la madera muerta en el estrato i ; tCO₂-e ha-1

$C_{\text{II},i}$: contenido de carbono en hojarasca en el estrato i ; tCO₂-e ha-1

$C_{\text{SOC,PD-BSLi}}$: contenido de carbono promedio post – deforestación en el carbono orgánico del suelo en el estrato post deforestación i ; tCO₂-e ha-1

i : 1,2,3,... M estratos

Actividad agropecuaria

$$C_{\text{post},i} = C_{\text{AB-tree},i} + C_{\text{BB-tree},i} + C_{\text{AB-no-mtree},i} + C_{\text{BB-no-mtree},i} + C_{\text{DW},i} + C_{\text{II},i} + C_{\text{SOC,PD-BSLi}}$$

$$C_{\text{post},i} = 48.2 + 18.9 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0$$

$$C_{\text{post},i} = 67.1$$

Actividad de minería

$$C_{\text{post},i} = C_{\text{AB-tree},i} + C_{\text{BB-tree},i} + C_{\text{AB-no-mtree},i} + C_{\text{BB-no-mtree},i} + C_{\text{DW},i} + C_{\text{II},i} + C_{\text{SOC,PD-BSLi}}$$

$$C_{\text{post},i} = 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0$$

$$C_{\text{post},i} = 0$$

Áreas urbanas

$$C_{\text{post},i} = C_{\text{AB-tree},i} + C_{\text{BB-tree},i} + C_{\text{AB-no-mtree},i} + C_{\text{BB-no-mtree},i} + C_{\text{DW},i} + C_{\text{II},i} + C_{\text{SOC,PD-BSLi}}$$

$$C_{\text{post},i} = 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0$$

$$C_{\text{post},i} = 0$$

Carreteras

$$C_{\text{post},i} = C_{\text{AB-tree},i} + C_{\text{BB-tree},i} + C_{\text{AB-no-mtree},i} + C_{\text{BB-no-mtree},i} + C_{\text{DW},i} + C_{\text{II},i} + C_{\text{SOC,PD-BSLi}}$$

$$C_{\text{post},i} = 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0$$

$$C_{\text{post},i} = 0$$

Para un mayor detalle ver la tabla 32.

Tabla 32. Estimación del carbono almacenado post deforestación

Años	Deforestación neta anual (ha)	tCO2	Actividad Agropecuaria			Actividad Minera			Áreas Urbanas			Carretera			Post deforestación			
			Anual ha	Biomasa aérea (tCO ₂)	Biomasa subterránea (tCO ₂)	Anual ha	Biomasa aérea (tCO ₂)	Biomasa subterránea (tCO ₂)	Anual ha	Biomasa aérea (tCO ₂)	Biomasa subterránea (tCO ₂)	Anual ha	Biomasa aérea (tCO ₂)	Biomasa subterránea (tCO ₂)	Ha (anual)	Biomasa aérea (tCO ₂)	Biomasa subterránea (tCO ₂)	Biomasa total (tCO ₂)
			0.948	48.2	18.9	0.034	0	0	0.009	0	0	0.00826	0	0				
2012-2013	513.0	345,716.2	487	23,460	9,181	18	-	-	5	-	-	4	-	-	513.0	23,460	9,181	32,641
2013-2014	542.5	364,383.6	515	24,809	9,709	19	-	-	5	-	-	4	-	-	542.5	24,809	9,709	34,518
2014-2015	474.5	316,347.6	450	21,700	8,492	16	-	-	4	-	-	4	-	-	474.5	21,700	8,492	30,192
2015-2016	415.3	272,956.3	394	18,991	7,432	14	-	-	4	-	-	3	-	-	415.3	18,991	7,432	26,423
2016-2017	345.1	231,838.0	327	15,781	6,176	12	-	-	3	-	-	3	-	-	345.1	15,781	6,176	21,957
2017-2018	357.3	236,333.3	339	16,340	6,395	12	-	-	3	-	-	3	-	-	357.3	16,340	6,395	22,735
2018-2019	249.8	166,559.8	237	11,422	4,470	9	-	-	2	-	-	2	-	-	249.8	11,422	4,470	15,892
2019-2020	204.0	132,946.9	193	9,328	3,650	7	-	-	2	-	-	2	-	-	204.0	9,328	3,650	12,978
2020-2021	251.1	161,440.1	238	11,486	4,495	9	-	-	2	-	-	2	-	-	251.1	11,486	4,495	15,981
2021-2022	184.0	117,785.8	174	8,413	3,293	6	-	-	2	-	-	2	-	-	184.0	8,413	3,293	11,706

Esta tabla 32, se extrajo del archivo adjunto "Hoja de cálculo-LINEA BASE-Proyecto - CCNN Infierno. Xls/hoja – Tabla 32"

4.3 Estimación de la suma de los cambios en el carbono almacenado en la línea base

La suma de los cambios en el carbono almacenado en la línea base se estima de la siguiente manera:

$$\Delta C_{TOT} = C_{BSL} - C_{post} - C_{wp}$$

$$C_{BSL} = \sum_{i=1}^t \sum_{i=1}^M ((C_{BSL,i}) * A_{unplanned,i,t})$$

$$C_{post} = \sum_{i=1}^t \sum_{i=1}^M (C_{post,i} * A_{unplanned,i,t})$$

$$C_{wp} = \sum_{i=1}^t \sum_{i=1}^M (C_{wp,i} * A_{unplanned,i,t})$$

Dónde:

ΔC_{TOT} : Suma de los cambios en el carbono almacenado en la línea base en todos los reservorios hasta el tiempo t^* ; tCO₂-e (calculada separadamente para el área del proyecto y cinturón de fugas).

C_{BSL} : Carbono forestal almacenado total en áreas deforestadas; tCO₂-e

C_{post} : Carbono almacenado total post-deforestación en áreas deforestadas; tCO₂-e

C_{wp} : Carbono almacenado total en productos de madera extraída; tCO₂-e

$C_{BSL,i}$: Carbono almacenado en todos los reservorios de carbono en el estrato de bosque i ; t CO₂-e ha⁻¹

$A_{unplanned,i,t}$: Área de deforestación no planificada en el estrato de bosque i en el tiempo t ; ha

$C_{post,i}$: Carbono almacenado en todos los reservorios de carbono en el estrato post-deforestación i ; t CO₂-e ha⁻¹

$A_{unplanned,i,t}$: Área de deforestación no planificada en el estrato post deforestación i en el tiempo t ; ha

$C_{wp,i}$: Contenido de carbono promedio en el reservorio de productos de madera (carbono que permanece en productos de madera después de 100 años) del estrato i ; t CO₂-e ha⁻¹

t : 1, 2, 3, ... t años transcurridos desde el inicio proyectado de la actividad del proyecto REDD

i : 1, 2, 3, ... M estratos

Tabla 33. Cambios en el carbono almacenado para el área del proyecto

N°	Años	Carbono almacenado en el estrato pre-deforestación en el área del proyecto (tCO ₂ -e) C_{BSL}	Carbono almacenado en el estrato post-deforestación (tCO ₂ -e)	C_{wp}	Emisiones netas (tCO ₂ -e) $\Delta C_{TOT,PA}$
1	2012-2013	345,716	32,641	0	313,075.5
2	2013-2014	364,384	34,518	0	329,865.7
3	2014-2015	316,348	30,192	0	286,155.8
4	2015-2016	272,956	26,423	0	246,533.0
5	2016-2017	231,838	21,957	0	209,881.1
6	2017-2018	236,333	22,735	0	213,598.3
7	2018-2019	166,560	15,892	0	150,667.7
8	2019-2020	132,947	12,978	0	119,968.8
9	2020-2021	161,440	15,981	0	145,459.3
10	2021-2022	117,786	11,706	0	106,079.7

Esta tabla 33, se extrajo del archivo adjunto "Hoja de cálculo-LINEA BASE-Proyecto - CCNN Infierno. Xls/hoja – Tabla 33"

Tabla 34. Cambios en el carbono almacenado para el cinturón de fugas

N°	Años	Carbono almacenado en el estrato pre-deforestación en el cinturón de fugas (tCO ₂ -e) C_{BSL}	Carbono almacenado en el estrato post-deforestación (tCO ₂ -e)	C_{wp}	Emisiones netas (tCO ₂ -e) $\Delta C_{TOT,PA}$
1	2012-2013	205,032.5	32,641	0	172,391.8
2	2013-2014	196,316.7	34,518	0	161,798.8
3	2014-2015	203,966.9	30,192	0	173,775.1
4	2015-2016	197,604.2	26,423	0	171,180.9
5	2016-2017	140,920.8	21,957	0	118,963.8
6	2017-2018	157,885.5	22,735	0	135,150.5
7	2018-2019	145,464.3	15,892	0	129,572.2
8	2019-2020	119,802.6	12,978	0	106,824.5
9	2020-2021	108,657.0	15,981	0	92,676.2
10	2021-2022	123,218.2	11,706	0	111,512.2

Esta tabla 34, se extrajo del archivo adjunto "Hoja de cálculo-LINEA BASE-Proyecto - CCNN Infierno. Xls/hoja – Tabla 34"

4.4 Estimación de la suma de emisiones de GEI en la línea base

Este paso fue obviado, para mayor detalle revisar la sección 2.3 del VCS-PD.

4.5 Calculo de emisiones netas en equivalentes de CO₂

$$\Delta C_{BSL\ unplanned} = AC_{BSLPA\ unplanned} + GHG_{BSL,E}$$

$$\Delta C_{BSL,PA,unplanned} = \Delta C_{TOT,PA}$$

$$\Delta C_{BSL,LK,unplanned} = \Delta C_{TOT,LB}$$

Dónde:

$\Delta C_{BSL,unplanned}$: emisiones netas de GEI en el escenario de línea base por deforestación no planificada; t CO₂-e

$\Delta C_{BSL,PA,unplanned}$: emisiones netas de CO₂ en el escenario de línea base por deforestación no planificada en el área del proyecto; t CO₂-e

$\Delta C_{BSL,LK,unplanned}$: emisiones netas de CO₂ en el escenario de línea base por deforestación no planificada en el cinturón de fugas; t CO₂-e

$GHG_{BSL,E}$: emisiones de GEI como resultado de actividades de deforestación dentro del límite del proyecto en el escenario de línea base; t CO₂-e

$\Delta C_{TOT,PA}$: suma del cambio en el carbono almacenado en el escenario de línea base en todos los reservorios hasta el tiempo t^* en el área del proyecto; t CO₂-e

$\Delta C_{TOT,LB}$: suma del cambio en el carbono almacenado en el escenario de línea base en todos los reservorios hasta el tiempo t^* en el cinturón de fugas; t CO₂-e

Tabla 35. Emisiones netas evitadas de GEI en el escenario de línea base por deforestación no planificada del proyecto

N°	Años proyectados	Carbono almacenado en el estrato pre-deforestación en el área del proyecto (t CO ₂ -e)	Fugas totales causada por desplazamiento de actividades (t CO ₂ -e)	Carbono almacenado en el estrato post-deforestación (t CO ₂ -e)	Flujo neto del proyecto (t CO ₂ -e)
1	2012-2013	345,716.2	34,665.8	32,640.7	278,409.7
2	2013-2014	364,383.6	36,537.6	34,518.0	293,328.1
3	2014-2015	316,347.6	31,720.9	30,191.8	254,434.8
4	2015-2016	272,956.3	27,370.0	26,423.3	219,163.0
5	2016-2017	231,838.0	23,246.9	21,956.9	186,634.2

6	2017-2018	236,333.3	23,697.7	22,735.0	189,900.6
7	2018-2019	166,559.8	16,701.3	15,892.0	133,966.4
8	2019-2020	132,946.9	13,330.9	12,978.1	106,637.9
9	2020-2021	161,440.1	16,188.0	15,980.8	129,271.3
10	2021-2022	117,785.8	11,810.7	11,706.1	94,269.1
Total		2,346,307.5	235,269.8	225,022.7	1,886,015.0

Esta tabla 35, se extrajo del archivo adjunto "Hoja de cálculo-LINEA BASE-Proyecto - CCNN Infierno. Xls/hoja – Tabla 35"

La incertidumbre total en el escenario de línea base del proyecto es **4,414%**.

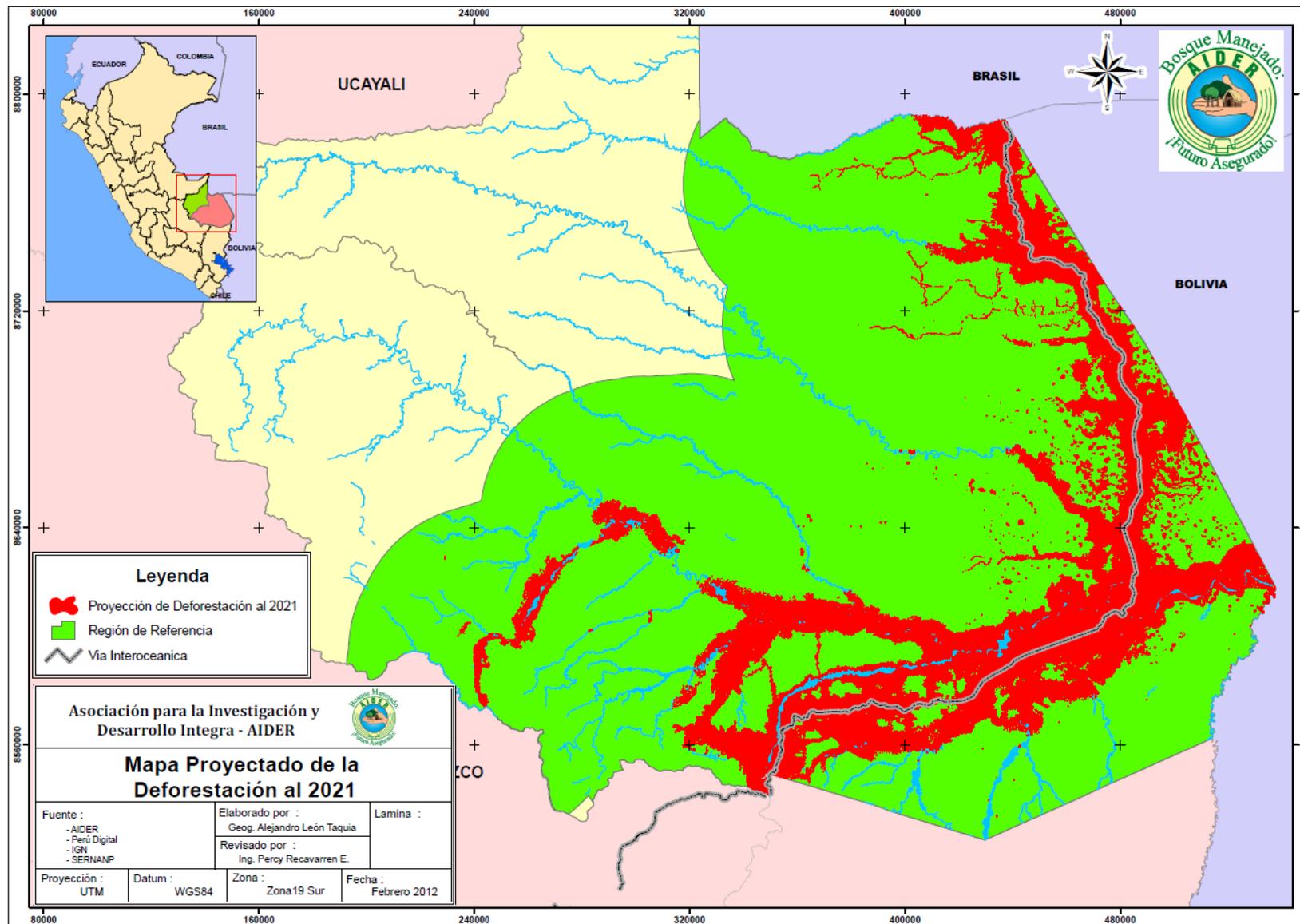


Figura 41 Mapa de deforestación proyectada al 2021

Bibliografía

AIDER (Asociación para la Investigación y el Desarrollo Integral, PE). 2011 Estratificación de los Bosques de la Reserva Nacional Tambopata y el Parque Nacional Bahuaja-Sonene ámbito de la región Madre de Dios. Lima, Perú.

Bonifaz, L.; Urunaga, R. 2006. Estimación de los beneficios económicos de la carretera interoceánica.

Bjornstad, O.; Falck, W. 2001. Nonparametric spatial covariance functions: Estimation and testing. Environmental and Ecological Statistics

Chuvieco, E. 2008. Teledetección ambiental: La observación de la tierra desde el espacio. 3 ed. Barcelona, España. 162 p.

CONAM (Consejo Nacional del Ambiente, PE); INRENA (Instituto Nacional de Recursos Naturales, PE). 2005. Memoria Explicativa del Mapa de Deforestación de la Amazonia Peruana año 2000. Lima, Perú. 163 p. en prensa.

Delgado, C. 2008. Is the interoceanic highway exporting deforestation? a comparison of the intensity of regional Amazonian deforestation agents within Brazil, Bolivia and Peru. Masters project final draft submitted in partial fulfillment of the requirements for the Master of Environmental Management degree in the Nicholas School of the Environment and Earth Sciences of Duke University.

Dormann, C.; McPherson, J.; Araújo, M.; Bivand, R.; Bolliger, J.; Carl, G.; Davies, R.; Hirzel, A.; Jetz, W.; Kissling, W.; Kühn, I.; Ohlemüller, R.; Peres-Neto, P.; Reineking, B.; Schröder, B.; Schurr, F.; Wilson, R. 2007. Methods to account for spatial autocorrelation in the analysis of species distributional data: a review. *Ecography* 30:609-628.

Dourojeanni, M. (2006). Estudio de caso de la carretera Interoceánica en la Amazonía sur de Perú. Bank Information Center, Perú. Disponible en: <http://www.bicusa.org/proxy/Document.100135.aspx>

Dykstra, D. *et al.* 1992. "Sostenimiento de los bosques tropicales mediante sistemas de explotación ecológicamente adecuados". *Unasylva*. Vol. 43. FAO.

Fernández, L.; Morales, F. 2009. Diagnóstico de los impactos integrados de la carretera Interoceánica Sur en la región Madre de Dios. Moore Foundation, Wildlife Conservation Society.

Fleck, LC.; Vera-Díaz, MC.; Borasino, E.; Glave, M.; Hak, J.; Josse, C. 2010. Estrategias de conservación a lo largo de la carretera Interoceánica en Madre de Dios, Perú: Un análisis económico-espacial. CSF. Serie Técnica N° 20.

Goremad – IIAP, 2009 Propuesta de Zonificación Ecológica y Económica del departamento de Madre de Dios. 210 p.

Ihaka, R.; Gentleman, R. 1996. R: A Language for Data Analysis and Graphics. *Journal of Computational and Graphical Statistics*

IIAP (Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana, PE). 2011. Memoria Descriptiva del Procedimiento Metodológico. Mapeo de la Deforestación del Departamento de Madre de Dios.

INRENA (Instituto Nacional de Recursos Naturales, PE). 1996. Guía explicativa del Mapa Forestal 1995. Dirección General Forestal. Lima, Perú.

INRENA (Instituto Nacional de Recursos Naturales). 2005. Hacia un Sistema de Monitoreo Ambiental Remoto Estandarizado para el SINANPE Piloto IV.

IPCC (International Plant Protection Convention). 2006. Directrices para los Inventarios nacionales de Gases de efecto Invernadero. Capítulo 4. Tierras Forestales. 93 p.

_____. 2006. Directrices para los Inventarios nacionales de Gases de efecto Invernadero. Capítulo 6. Pastizales. 55 p.

LAPEYRE, T; ALEGRE, J; y ARÉVALO, L. 2004. Determinación de las reservas de carbono de la biomasa aérea, en diferentes sistemas de uso de la tierra en San Martín, Perú. *Ecología Aplicada*. Lima, Perú.

Liebhold, A.; Sharov, A. 1998. Testing for correlation in the presence of spatial autocorrelation in insect count data. "Population and Community Ecology for Insect Management and Conservation", J. Baumgartner, P. Brandmayr, B.F.J. Manly, editors. Balkema, Rotterdam.

MINAM (Ministerio del Ambiente, PE). 2009. Memoria descriptiva del Mapa de deforestación de la Amazonía peruana. Lima, Perú.

Malleux, J. 1975. Memoria Explicativa del Mapa Forestal del Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima – Perú. 128 p.

_____. 1982. Inventarios Forestales en Bosques Tropicales. Lima, Perú. 414 p.

PERÚ. Ley Forestal y de Fauna Silvestre 2011, de 21 de Julio. Diario Oficial El Peruano, 22 de julio de 2011, núm. 29763, p. 25.

Perú. Ley Forestal y de fauna Silvestre 2000, Diario Oficial El Peruano, 16 de julio del 200, núm. 27308, p. 7.

Perú. Ley Orgánica para el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales 1997. Diario Oficial El Peruano, 25 de junio de 1997, núm. 26821, p. 9.

Perú. Decreto Supremo Nº 044-2002-AG. Precisiones y prohibiciones al aprovechamiento maderable en concesiones para otros productos del bosque. Diario Oficial El Peruano, 11 de julio del 2002, p. 2.

Perú. Título XIII del Código Penal, modificado por Ley 29263. Diario Oficial El Peruano, 2 octubre de 2008.

Pinheiro, J.; Bates, D. 2000. *Mixed-Effects Models in S and S-PLUS*. Springer.

Puyravaud, J. 2003. Standardizing the calculation of the annual rate of deforestation. *Forest ecology and management* 177:593-596.

Sabogal, C. 2010. Casos ejemplares de manejo forestal sostenible en América Latina y el Caribe. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

Vera-Diaz, MDC; Kaufmann, R; Nepstad, D; Schlesinger, P. 2008. An Interdisciplinary Model of Soybean Yield in the Amazon Basin: the Climatic, Edaphic, and Economic Determinants.

ANEXOS

ANEXO A. Coordenadas UTM de mapa validado

Cuadro 1. Coordenadas UTM de los puntos de validación de mapa

N°	Este	Norte	Mapa	Campo	Grilla
1	439400	8749300	bosque	bosque	1
2	439900	8748100	bosque	bosque	1
3	437950	8748250	Deforestación	Deforestación	1
4	438300	8750500	Deforestación	Deforestación	1
5	438400	8747700	Deforestación	Deforestación	1
6	437400	8746000	Deforestación	bosque	1
7	445200	8748600	bosque	bosque	1
8	456500	8737000	Deforestación	Deforestación	2
9	460600	8738600	Deforestación	Deforestación	2
10	462000	8735000	Deforestación	bosque	2
11	461200	8734700	Deforestación	Deforestación	2
12	464600	8736500	bosque	bosque	2
13	462000	8736000	bosque	bosque	2
14	459500	8735500	bosque	bosque	2
15	477200	8640450	bosque	bosque	3
16	478670	8639200	bosque	bosque	3
17	480600	8638900	bosque	bosque	3
18	479400	8636300	bosque	bosque	3
19	477600	8640300	Deforestación	Deforestación	3
20	476200	8639600	Deforestación	Deforestación	3
21	476500	8639100	Deforestación	Deforestación	3
22	390600	8575500	bosque	bosque	4
23	387300	8575700	bosque	bosque	4
24	385900	8575400	bosque	bosque	4
25	386600	8577300	Deforestación	Deforestación	4
26	386000	8576200	Deforestación	Deforestación	4
27	385600	8574100	Deforestación	Deforestación	4
28	389400	8576900	Deforestación	Deforestación	4
29	428100	8586150	Deforestación	Deforestación	5
30	428000	8587500	bosque	Deforestación	5
31	428400	8587650	Deforestación	Deforestación	5
32	432330	8588700	Deforestación	Deforestación	5
33	429600	8586200	bosque	bosque	5
34	429900	8585100	bosque	bosque	5
35	430800	8586400	bosque	bosque	5

ANEXO B. Evidencia de porcentaje de validación del modelo de deforestación proyectado

De: Britaldo Silveira Soares Filho [mailto:britaldo@csr.ufmg.br] Enviado el:
martes, 20 de diciembre de 2011 05:31 a.m.
Para: "Alejandro León Taquia"
CC: Hermann Rodrigues
Asunto: Re: % de Validación

Estimado Jorge

No hay estandards fijos en la literatura, pero algo superior a 50% empieza a se volver interesante.

Atentamente,

Britaldo Silveira Soares Filho
Centro de Sensoriamento Remoto/UFMG
britaldo@csr.ufmg.br
www.csr.ufmg.br
www.csr.ufmg.br/dinamica
553134095449, 34095417

> Estimados;
> Es un gusto enviarle mis saludos y mencionarles que tengo una consulta
> con respecto al proceso de validación con Dinámica Ego, en la
> actualidad estamos realizando una documentación de una Modelación de
> la Región de Madre de Dios, pero necesito saber cuáles son los
> porcentajes aceptables por ventanas cuando uno realiza una modelación,
> en mi caso sería en ventanas de 5x5 cuál es el porcentaje mínimo para
> que mi imagen de modelación sea aceptable. Y si existe alguna
> documentación donde precise los porcentajes de aceptación.
>

> Muchas Gracias.

>

> Felices Fiestas.

>

> Atte,

>

> Alejandro León Taquia

>

> Responsable Área de Sistemas de Información Geográfica y Percepción

> Remota

> Remote Sensing & GIS Manager

> Asociación para la Investigación y Desarrollo Integral - AIDER

> Av. Jorge Basadre 180 Int. 6 San Isidro - Lima

> Teléfono: 421 5835 / 628 7088 Anexo 105 Celular: 987221177 /

> 981378131 > Nextel: 137*8131

> <<mailto:aleon@aider.com.pe>> aleon@aider.com.pe

> <<mailto:janofiles@yahoo.com>> janofiles@yahoo.com