

ESTIMACIÓN DE LA DEFORESTACIÓN NO PLANIFICADA EN EL ESCENARIO DE LÍNEA BASE

RESERVA NACIONAL TAMBOPATA Y PARQUE NACIONAL BAHUAJA-
SONENE – ÁMBITO DE LA REGIÓN MADRE DE DIOS

2011



ASOCIACION PARA LA
INVESTIGACION Y EL
DESARROLLO
INTEGRAL - AIDER

I. 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.

La Región de referencia determinada para el proyecto REDD está conformada por la Buffer al total de las vías; esta región de referencia ocupa un área de 5,638,771.55 Ha.

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.

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

II. 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 bosques, los impactos de deforestación, tipos de suelo, las clases de pendiente, y cinturones de elevación.

El análisis de los tipos de vegetación dentro cinturón de fugas y zona del proyecto se llevó a cabo mediante un archivo de forma que contiene el tipo de vegetación y Fisiografía para todo el Área del Proyecto y el Cinturón de Fugas. Los diferentes tipos de vegetación se puede observar en la tabla 1.

Tabla 1. Tipos de Vegetación del área del proyecto y Cinturón de Fugas.

Tipos de Vegetación
Bosque con Aguajal
Bosque con Paca
Bosque de vigor 1
Bosque de vigor 2
Bosque de vigor 3
Bosque ribereño
Bosque secundario/act. agropecuaria
Cuerpos de agua
Pacal
Pantano con vegetación
Pantano sin vegetación
Sabana tropical

La observación de impactos de deforestación en áreas similares más lejos ayudó para determinar los límites de la región de referencia del Modelo. Efectos de la extracción de madera a través de ríos y caminos forestales se han observado hasta 50 km de carreteras principales (Dourojeanni, 2006b - Página 34) y caminos secundarios (Delgado, 2008 - Página 19) en la Amazonía peruana. Esto es regionalmente constante, como (Brandão et al, año -. página 18) escribió (Blue Moon Foundation) que en la red de carreteras bien desarrollada de más de 241,000 kilómetros en el Estado de Amazonas en Brasil toda la deforestación es concentrada en un buffer de 50 kilómetros de caminos.

Por consiguiente, una zona Buffer de 50 kilómetros de caminos existentes fue escogida 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 de 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 8,460,821.75 hectáreas, mientras que la red secundaria de carreteras tiene una longitud de 3.134,61 kilómetros de acuerdo actualizaciones por ACCA. El área de la memoria intermedia es 5,638,200.55 hectáreas. El área del Buffer es 5,638,771.55 hectáreas. Véase la figura 1.

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 bosques, los impactos de deforestación, tipos de suelo, las clases de pendiente, cinturones de elevación y accesos a mercados, el cual es vital para la elaboración de la Tasa dinámica. El área es igual a la Región de Referencia.

a. Principal 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 de la agricultura

de los agentes principales de la deforestación. Los suelos que están presentes en la región de referencia y en cada de las zonas del proyecto se puede observar en la tabla 2.

Tabla 2. Tipos de suelos de la región de referencia y del área del proyecto.

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

b. Factores del Paisaje

El factor del paisaje utilizado para el área de referencia se baso en la pendiente del terreno. La pendiente para la región de referencia y de la zona 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 zona en la región de referencia y la zona del proyecto tienen un terreno con pendiente inferior al 15%

c. Redes de Transporte e Infraestructura Humana

Para esta punto se tomó en cuenta la viabilidad dentro de la Zona de Referencia y en el área del Proyecto, que cubre gran parte de la carretera Puente Inambari – Puerto Maldonado – Iberia – Iñapari, constituye la vía principal de integración del departamento, 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 Zona de referencia y el Área del Proyecto le permite a nivel nacional proyectarse con el mercado Brasileño. Figura 2

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 de Madre de Dios (el 30 % aprox. son mineros informales) y 30,000 personas aproximadamente dependen indirectamente de ella a través de actividades colaterales.

Y a su vez la contaminación generada por el uso de Mercurio dentro del proceso de recuperación del oro metálico y por el vertimiento de sólidos en suspensión en determinados cursos de agua, y vertimiento de los residuos de amalgamación al medio ambiente (cursos de agua y terrenos superficiales), disturbación 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, existe diferentes tipo de Políticas y reglamentación, ya que el uso del territorio tiene mucha variabilidad, esto se podrá 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 plasmado en la Zonificación Ecológica Económica (ZEE).

f. Exclusión de la Deforestación Planificada

Debido a la Heterogeneidad del 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 bosques, 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 1.

- **Área del proyecto**

La Reserva Nacional de Tambopata y el Parque Nacional Bahuaja Sonene (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 zona. Ver Figura 3. Ambas áreas presentan similar características biofísicas, en comparación con la región de referencia como la pendiente, los suelos, los bosques tipos, etc,. Vale la pena señalar que tanto las áreas del proyecto están incluidos en el modelo como conductores espaciales, por lo que son importantes en cuanto a la ubicación de la deforestación, pero que no juegan otro papel en el desempeño del modelo.

El área del proyecto está conformada por 548,488.91 ha, que corresponde a las áreas de bosque a la fecha de inicio actividades del proyecto REDD.

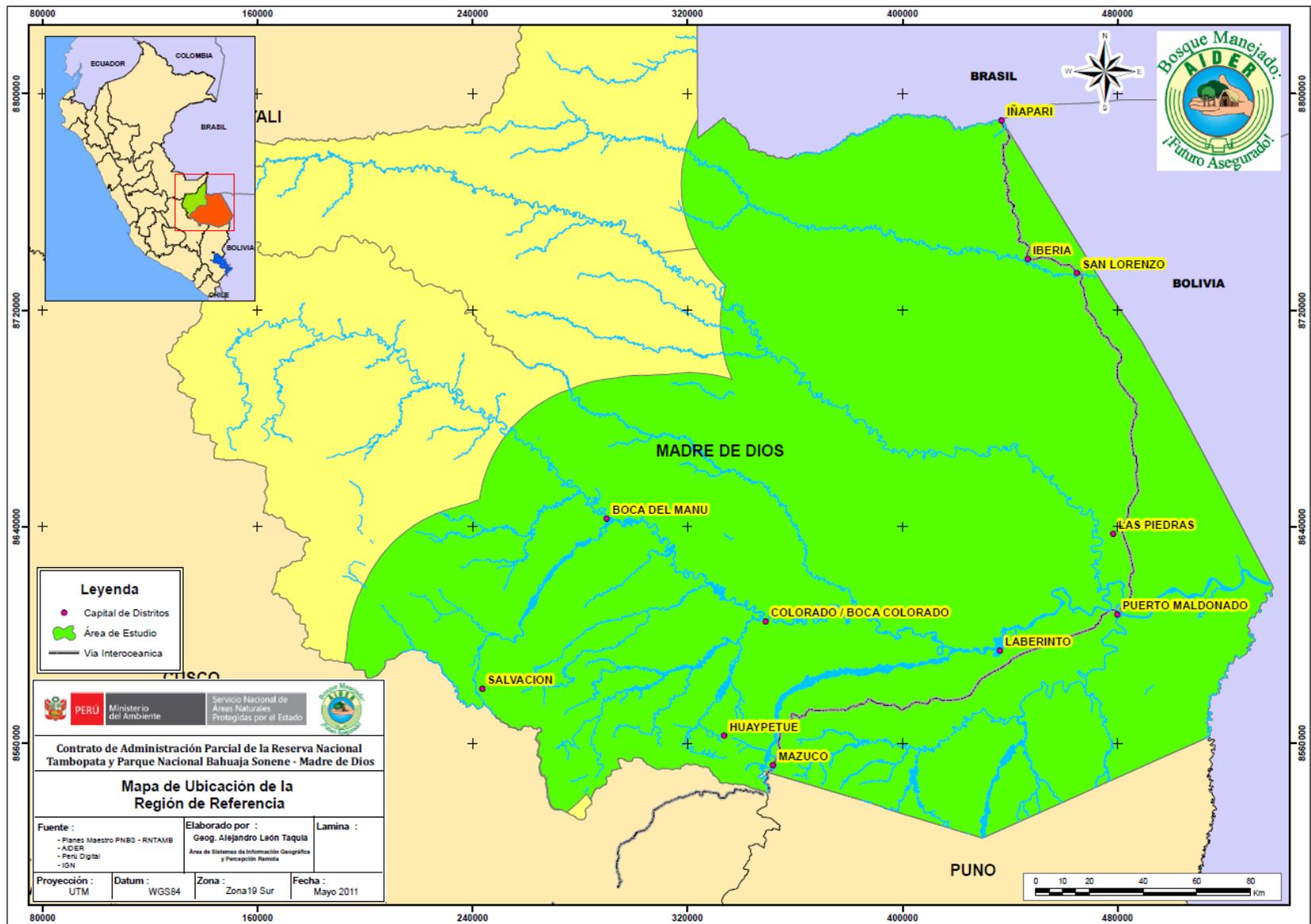


Figura 1. Mapa de la Región de Referencia según el Buffer de 50 kilómetros

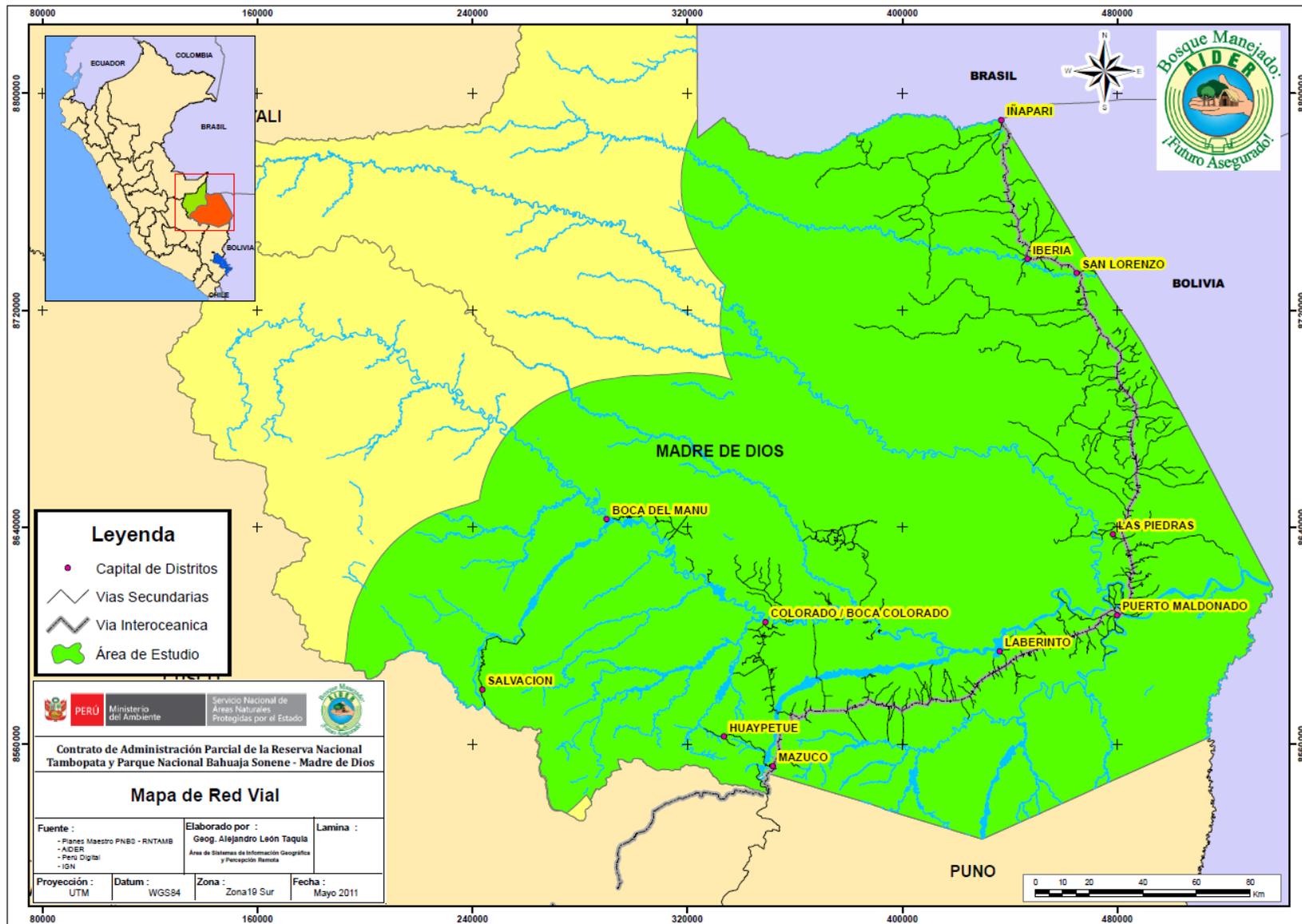


Figura 2. Mapa de la red vial de la Región de Referencia y Área del Proyecto

- **Cinturón de fugas**

Siguiendo la metodología “*Estimation of emissions from activity shifting for avoided unplanned deforestation*” LK-ASU se ha definido el cinturón de fugas del proyecto, en el cual en ella habitan poblaciones tanto colonas como indígenas 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, Comunidades Nativas. El cinturón de fugas ocupa 273,691.72 ha.

- 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 con el conjunto de datos espaciales del Mapa de Vegetación. Ver tabla 3

Tabla 3. Tipos de suelos de la región de referencia y del área del proyecto.

Fisiografía	Hectáreas	Porcentaje
Actividad agropecuaria	8726.79144	3.19%
Aluvial inundable	23826.15557	8.71%
Colina alta fuerte	13208.18719	4.83%
Colina alta suave	15072.21583	5.51%
Colina baja fuerte	9085.341979	3.32%
Colina baja suave	3031.364745	1.11%
Deforestación	52716.76492	19.27%
Cuerpos de agua	3803.537977	1.39%
Terraza alta	10567.40416	3.86%
Terraza baja	65543.13638	23.95%
Terraza disectada fuerte	25544.0667	9.34%
Terraza disectada suave	42505.5864	15.53%

- Los Factores de Transporte cumplen con las condiciones debido a que dentro del Cinturón de Fugas intercepta el principal Eje Vial, la vía Interoceánica Sur que une el Departamento de Madre de Dios con Cuzco y su vez constituido por las vías secundarias a varios centros poblados ubicados dentro del Cinturón de Fugas.
- El Cinturón de Fugas se encuentra delimitado con el Limite Político departamental del Perú, perteneciendo solo a un departamento, así mismo solo se encuentra ubicado en el límite del país.

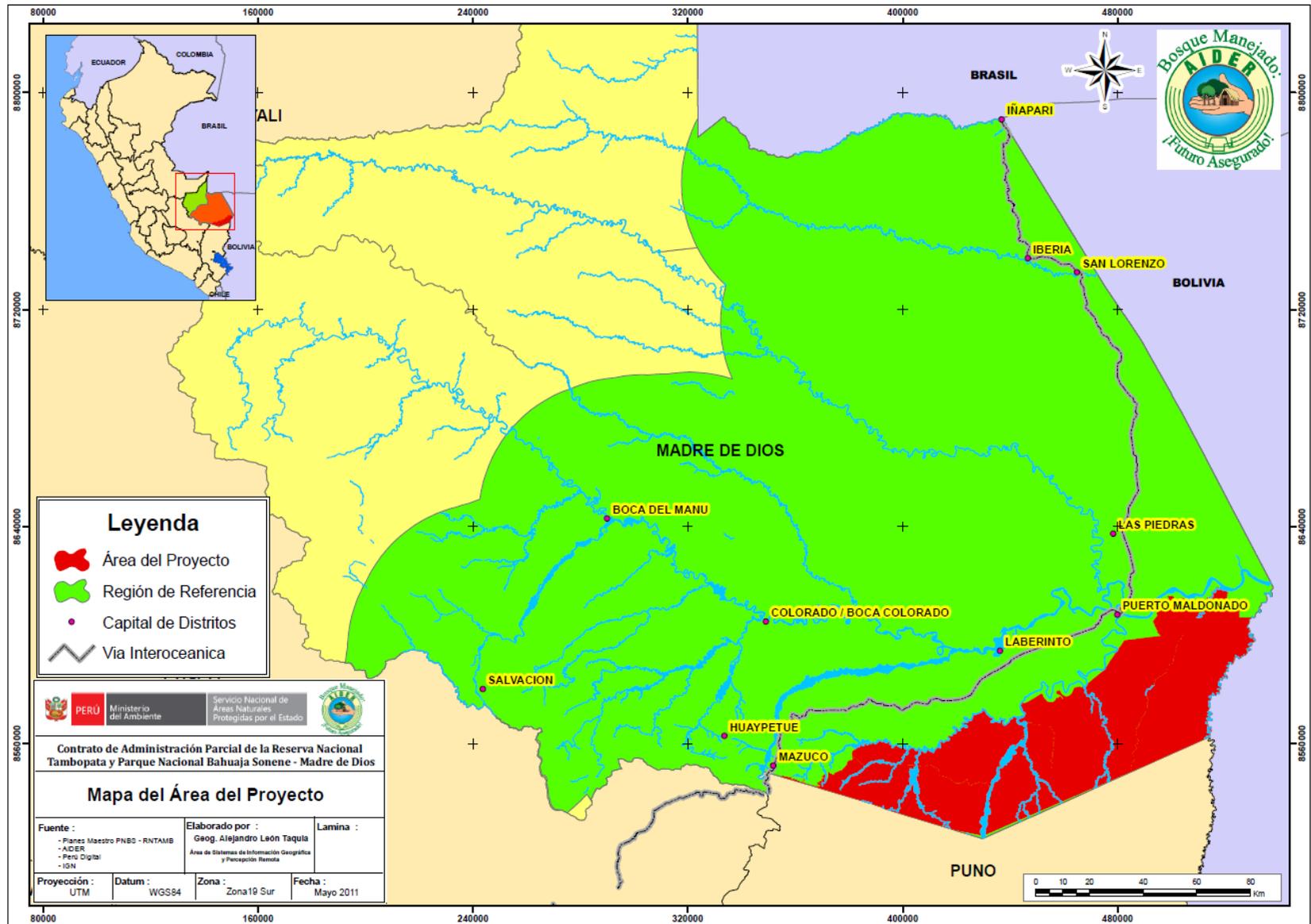


Figura 3. Mapa del Área del Proyecto

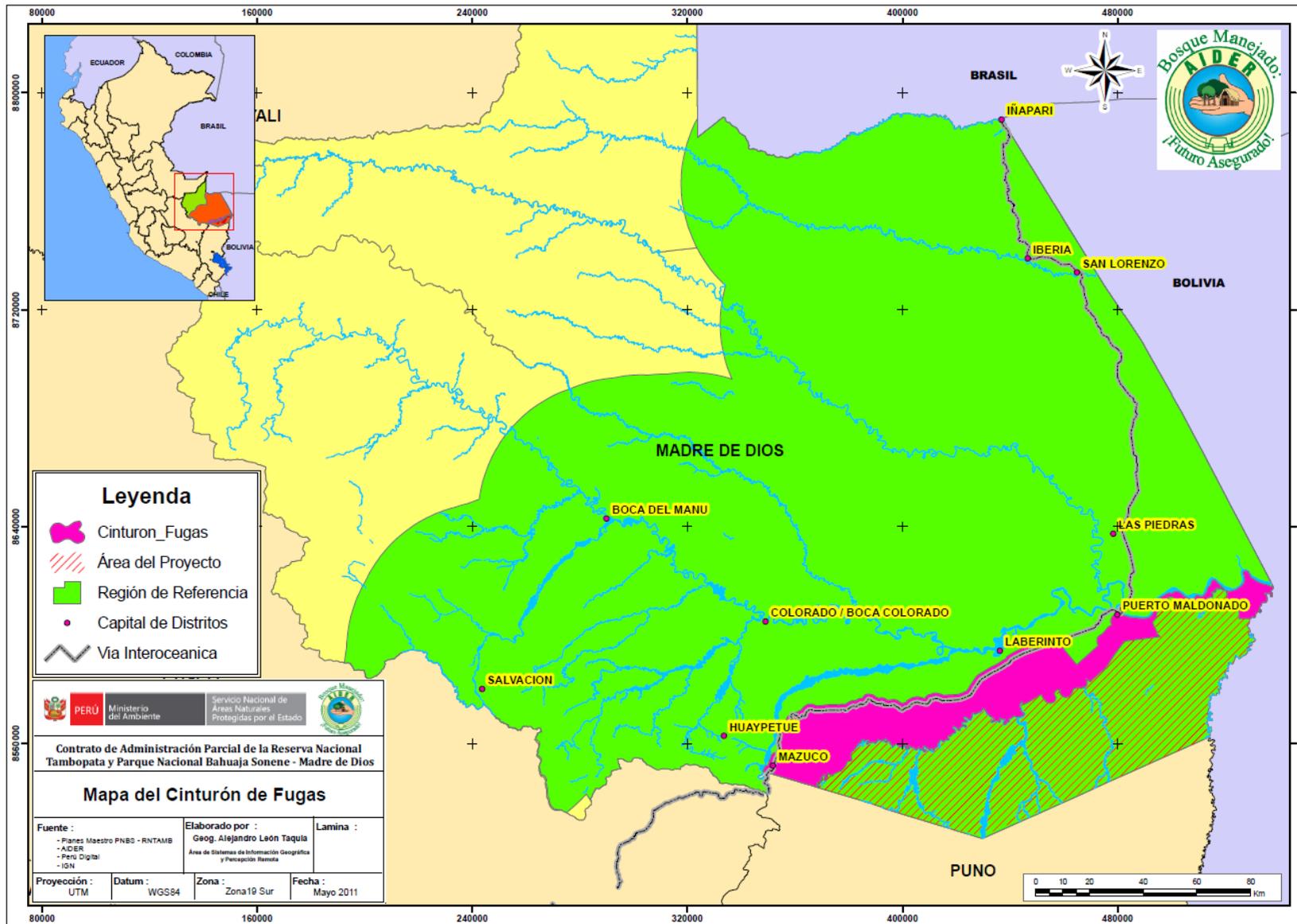


Figura 4. Mapa del Área del Cinturón de Fugas

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.

- **Fecha de inicio y termino periodo de acreditación de REDD**

La acreditación será anual del 2010 al 2020.

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

Revisión de la línea base: 2020, 2030.

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

Las imágenes satelitales utilizadas son las del sensor LANDSAT, que tienen un tamaño de píxel de 30 m de lado; 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 fuentes y medios, siendo las más adecuadas para el análisis y evaluación los sensores TM y ETM+ del satélite Landsat. Esta decisión de utilizar estos sensores se tomó debido a que éstos básicamente fueron creados para la investigación de los recursos naturales, ya que las características espaciales, espectrales, radiométricas y temporales poseen cierta particularidad que hace posible su uso en latitudes como es el caso del área del proyecto y principalmente se puede observar características de la superficies en cierto rango del espectro, como se indica 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
1 Visible -Azul	0,45 a 0,52	30	Azul: Presenta gran penetración en cuerpos de agua, con elevada transparencia, permitiendo estudios batimétrico. Sufre absorción por la clorofila y pigmentos fotosintéticos auxiliares (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.

Band del espectro	Rango del Espectro Electromagnético (μm)	Resolución espacial (m)	Características de la Banda espectral
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	1,55 a 1,75	30	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 de agua en las plantas usadas en el análisis de las mismas, tanto en época de sequía como cuando es saludable.
6			Infrarrojo termal: Presenta sensibilidad a los fenómenos relativos a los contrastes térmicos, sirviendo para detectar propiedades termales de rocas, suelos, vegetación y agua.

Band del espectro	Rango del Espectro Electromagnético (μm)	Resolución espacial (m)	Características de la Banda espectral
Infrarrojo termal	10,4 a 12,5	60	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.

Después de haber realizado la búsqueda y adquisición de imágenes se seleccionaron 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. Figura 5.

El grupo de imágenes seleccionadas para el estudio se resume en la siguiente tabla 5.

Tabla 5. Landsat TM utilizadas en el análisis de la deforestación (años: 2000, 2006 y 2010)

Satélite	Sensor	Imagen (Path_Row)	Fecha de imágenes usadas para la interpretación del año 2000	Fecha de imágenes usadas para la interpretación del año 2006	Fecha de imágenes usadas para la interpretación del año 2010
Landsat	TM5	p002r068	24/11/2000	25/05/2006	08/08/2010
Landsat	TM5	p002r069	24/08/1999	13/08/2006	08/08/2010
Landsat	TM5	p003r068	27/08/1997	04/08/2006	30/07/2010
Landsat	TM5	p003r069	25/05/2000	16/05/2006	16/09/2010
Landsat	TM5	p004r067	10/07/2000	23/07/2005	06/08/2008
Landsat	TM5	p004r068	22/09/1998	05/08/2004	06/08/2008
Landsat	TM5	p004r069	18/06/1998	26/07/2006	02/05/2010

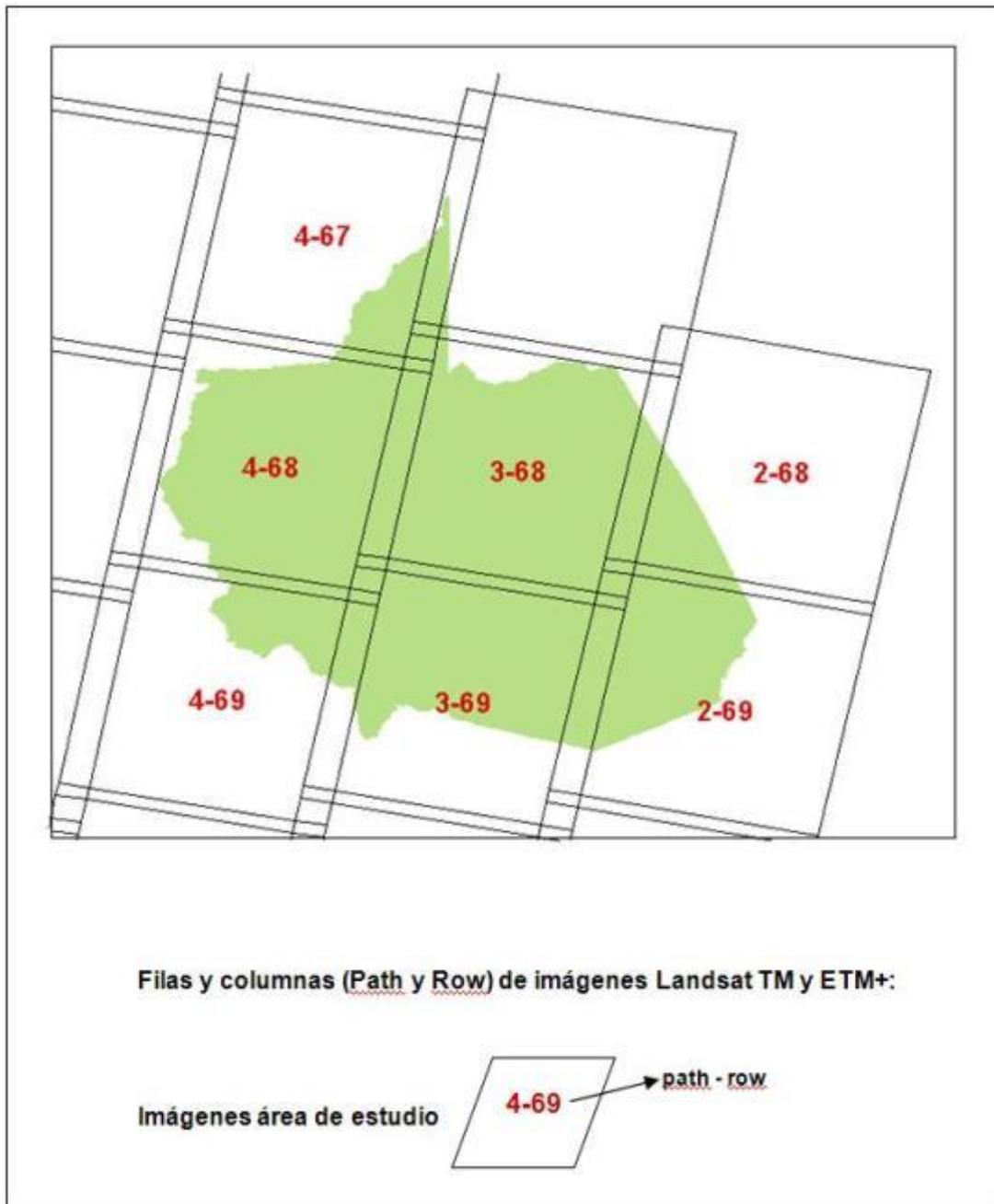


Figura 5: Índice de imágenes Landsat TM y ETM+ usadas en la interpretación visual de la deforestación y en la elaboración de los mosaicos

También se utilizaron, además, las hojas del Mapa Planimétrico de escala 1:250 000 con la finalidad de verificar algunas características propias y no observables en la Carta Nacional debido a que éstas son también imágenes de satélite. Figura 6.

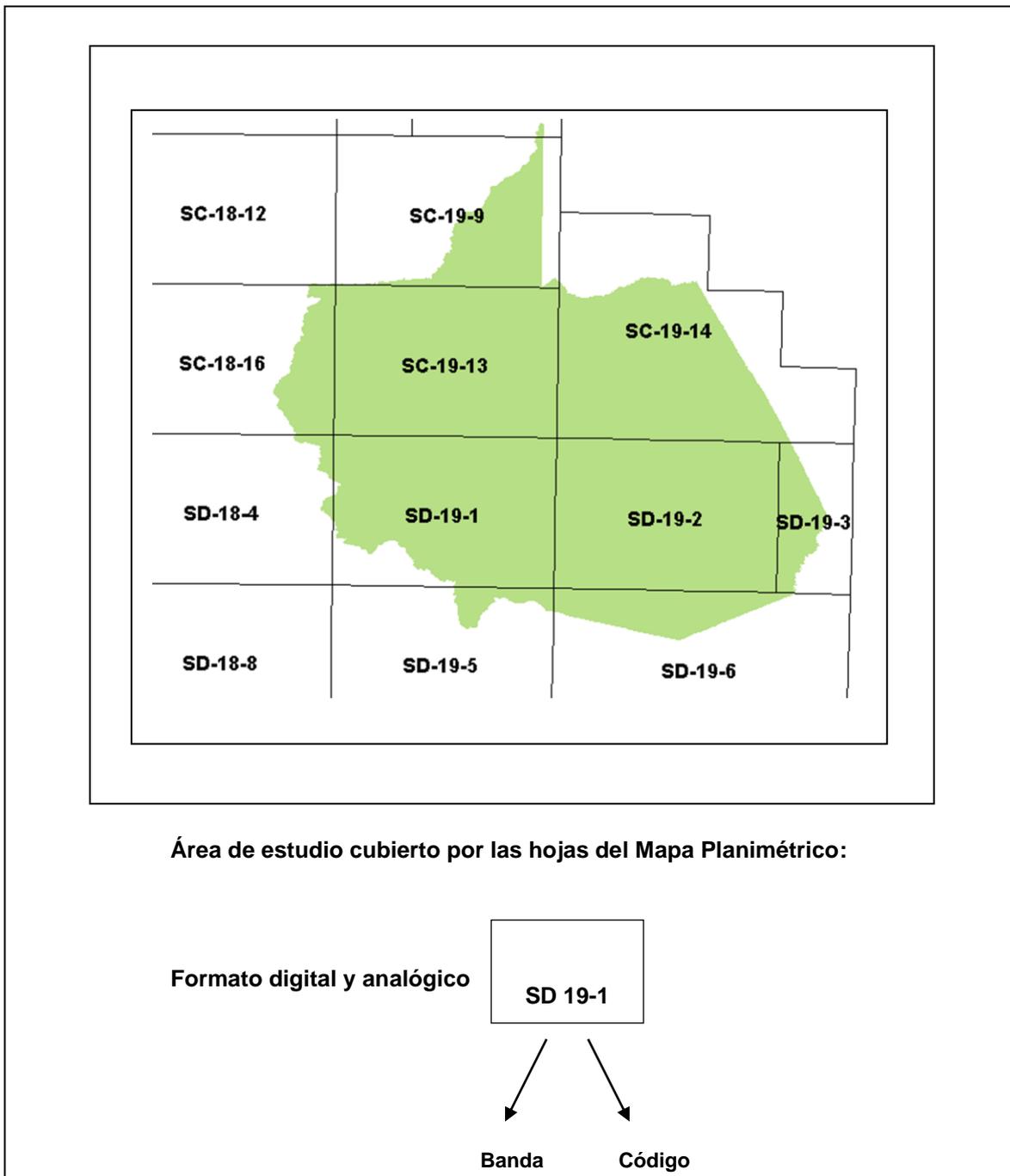


Figura 6. Índice gráfico del Mapa Planímetro utilizado en el proyecto

2.1.2 Cartografía de la Deforestación Histórica

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.

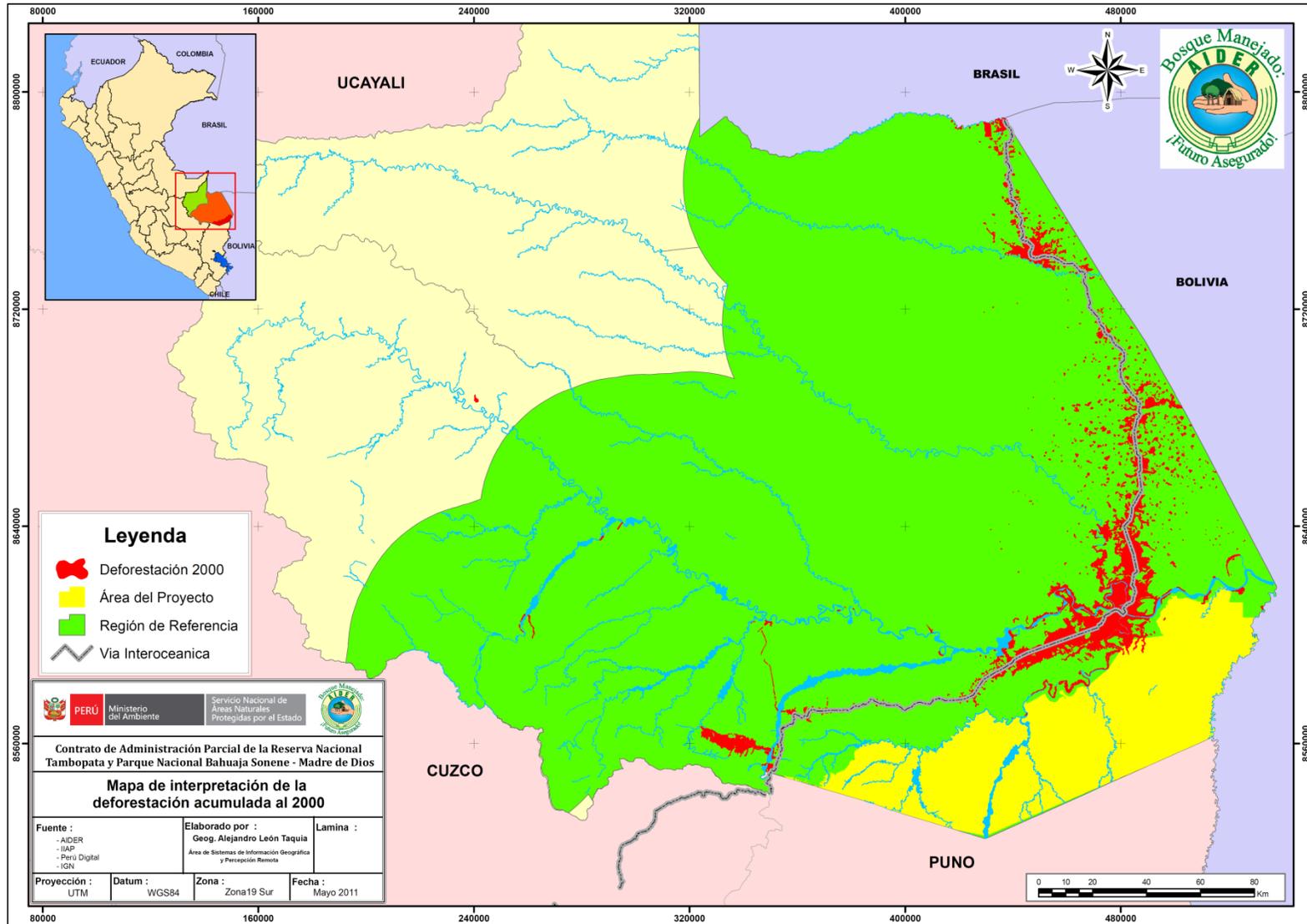


Figura 7. Mapa de Deforestación al 2000

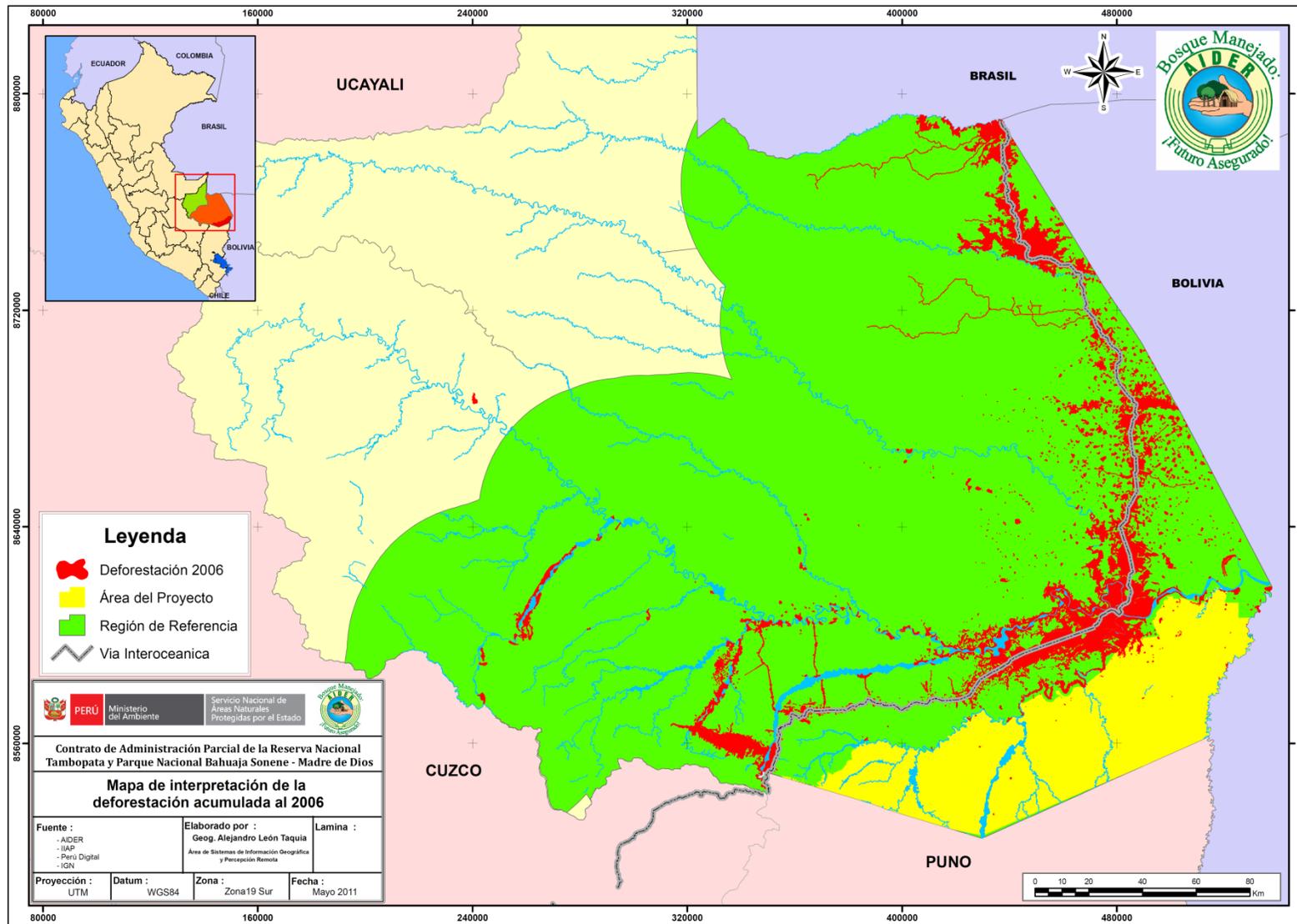


Figura 8. Mapa de Deforestación al 2006

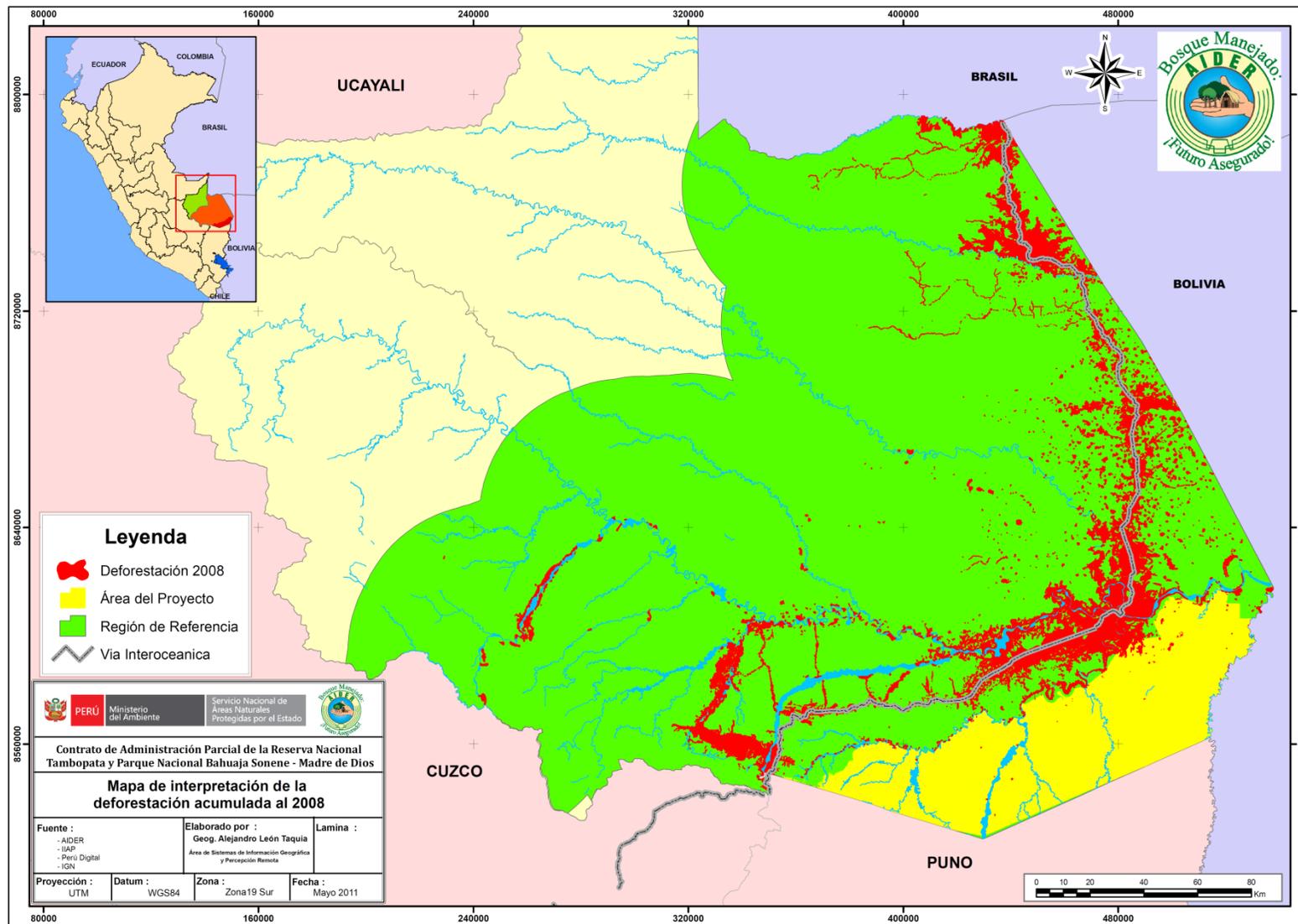


Figura 9. Mapa de Deforestación al 2008

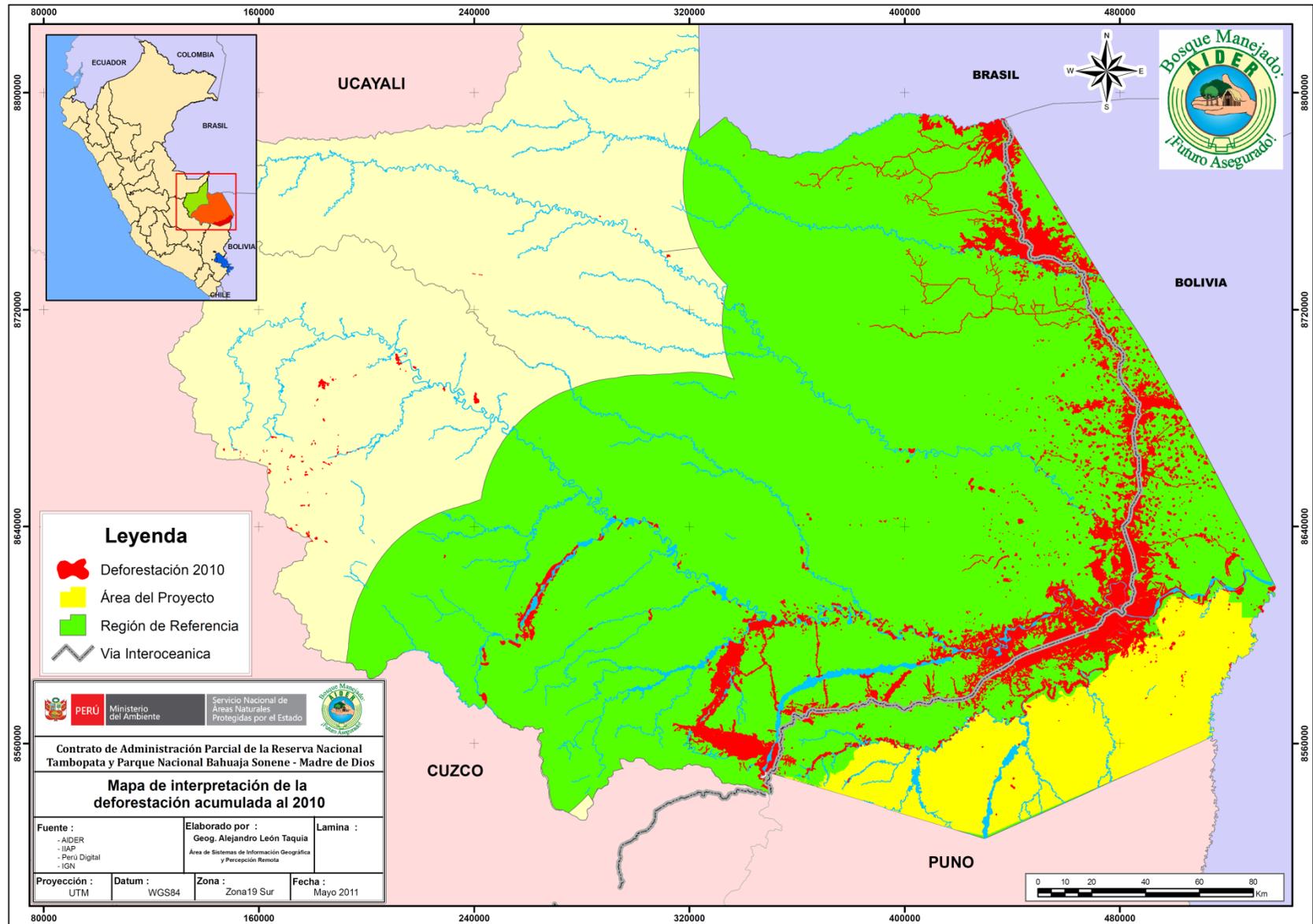


Figura 10. Mapa de Deforestación al 2010

2.1.3 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	5,638,201
% Respecto a MdD	66.64%
Superficie Deforestada 2008 (Ha)	335,876.28
Superficie Deforestada 2006 (Ha)	329,775.22
Superficie Deforestada 2000 (Ha)	171,894.50

2.1.4 Evaluación de la Precisión del Mapa.

La verificación de los datos de la interpretación digital de las imágenes satelitales se realizó con los 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 6 rectángulos distribuidos equitativamente en toda el área estudiada con una extensión total de 30 mil 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 (Chuvienco, 2008), calculándose el tamaño de muestra mediante la siguiente fórmula:

$$n = \frac{Z^2 pq}{E^2}$$

Donde:

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 85% y 15%, además del error estándar permisible 10%, para 95% de confianza, la fórmula queda definida en la forma siguiente:

$$n = \frac{1,96^2 \times 85 \times 15}{10^2} = 48,98$$

Esto significa que el tamaño mínimo es 49 puntos de verificación. Esta cantidad de puntos se debe distribuir en forma proporcional en las 6 áreas distribuidas correspondiendo a 9 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 difieren 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 nuestro caso.

Tabla 7 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			

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

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

Donde:

- 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 2008 el F_m es 92.73%, para el mapa de deforestación 2009 es de 93.55% y para el mapa de deforestación del 2010 es de 91.43%.

2.2 ESTIMACIÓN DE LAS ÁREAS ANUALES DE DEFORESTACION NO PLANIFICADA DE LINEA 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.

El modelo de deforestación solo considera los costos de oportunidad de la actividad ganadera y de la producción del maíz. Estas fueron las únicas actividades consideradas para el desarrollo de este modelo, pues para ellas existían modelos de productividad espacializados que eran necesarios para construir superficies de rentabilidad en el espacio. Estos modelos de productividad fueron generados por (Fleck et al. 2010).

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 abajo:

$$CO = Rent_{max}\{Carne, Maíz\}$$

Dónde:

CO = Costo de oportunidad

Rent_{max} = Rentabilidad máxima

RENTABILIDAD DE CARNE

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). Ver figura 11.

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.

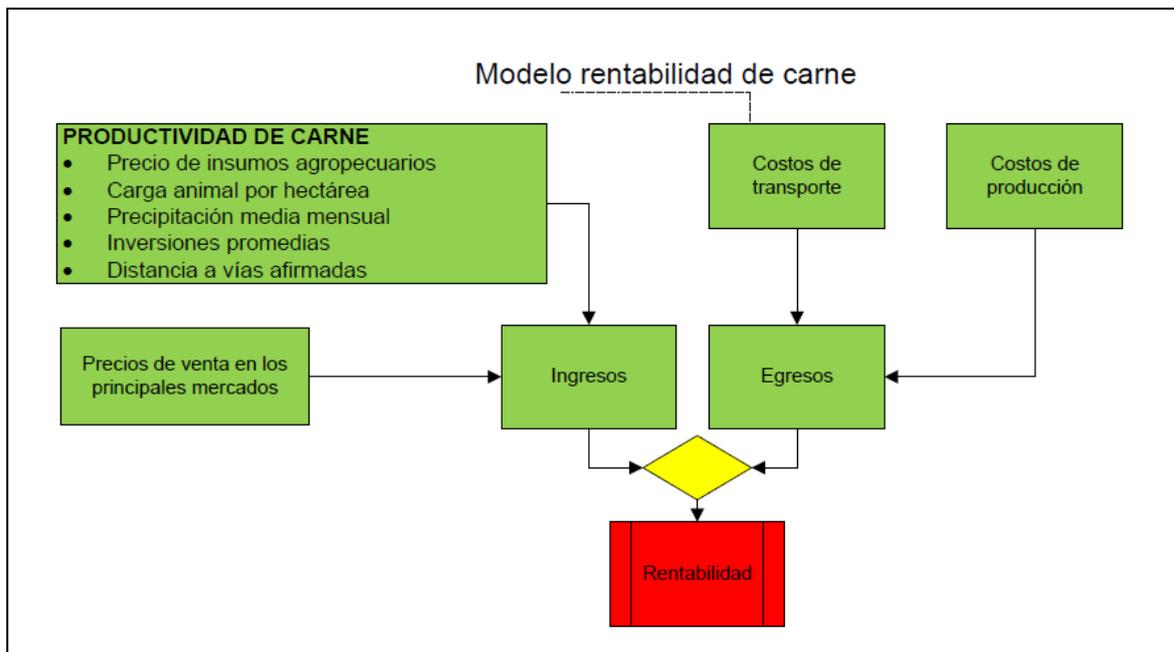


Figura 11. Modelo para el cálculo de la rentabilidad de carne

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 8 .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 como se muestra en la figura 12.

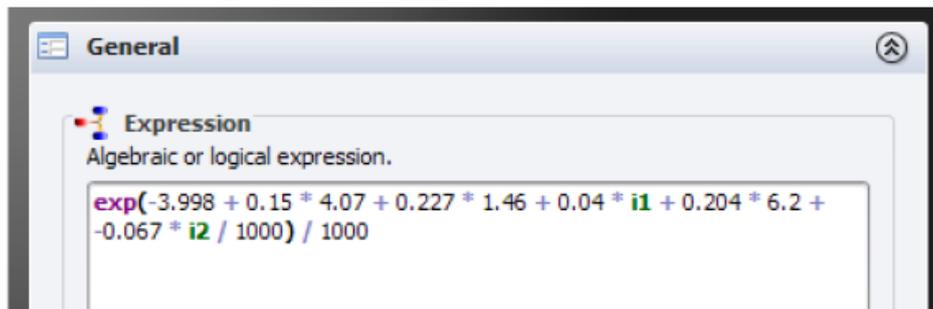


Figura 12. Expresión para el cálculo de la productividad de carne escrita en Dinamica Ego

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

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

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

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 9. 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)

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

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

La expresión que se presenta arriba, puede ser escrita en Dinamica Ego, como se presenta en la figura 13.

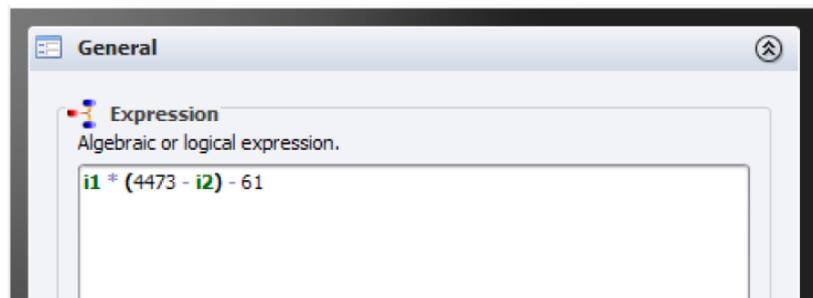


Figura 13. Expresión para el cálculo de la rentabilidad de carne escrita en Dinamica Ego

Donde:

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 14.

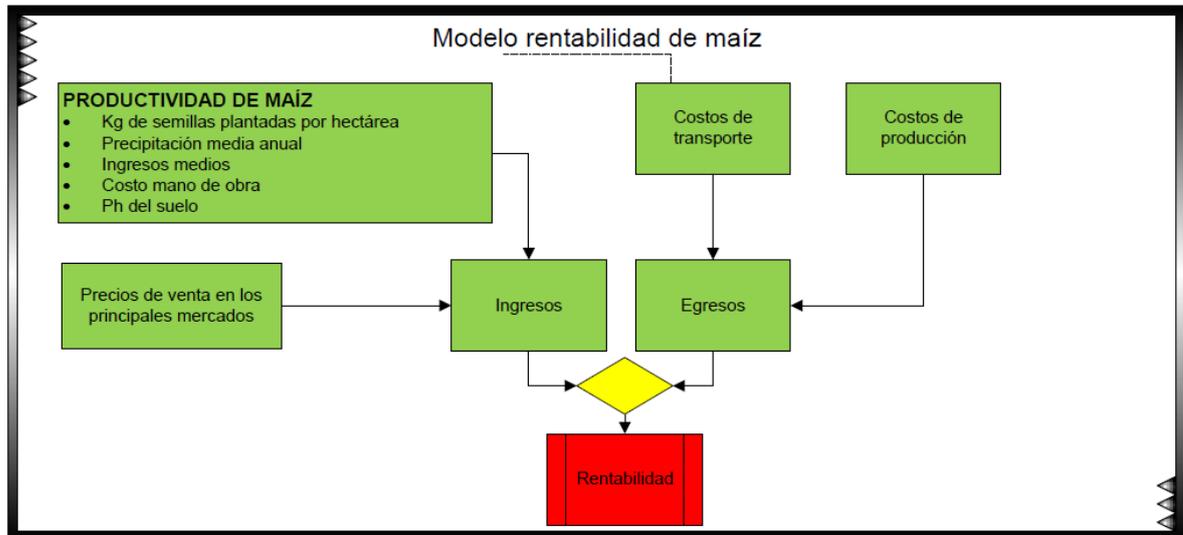


Figura 14. Modelo para el cálculo de la rentabilidad de maíz

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

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 10. 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)

$$\begin{aligned}
 \text{Rendimiento}_{\text{maíz}} = & -4232.35 + 38.42 \left(\frac{\text{seed}_{\text{maíz}} \text{Kg}}{\text{ha}} \right) + 2.293 (\text{precip}_{\text{maíz}} \text{mm}) \\
 & + 0.118 (\text{income}_{\text{maíz}} \text{Soles}) + 1.178 \left(\text{labor}_{\text{maíz}} \frac{\text{Soles}}{\text{ha}} \right) + 179.21 (\text{ph}_{\text{maíz}})
 \end{aligned}$$

La expresión matemática que se presenta arriba es codificada en Dinamica Ego, como se muestra en la figura 15.

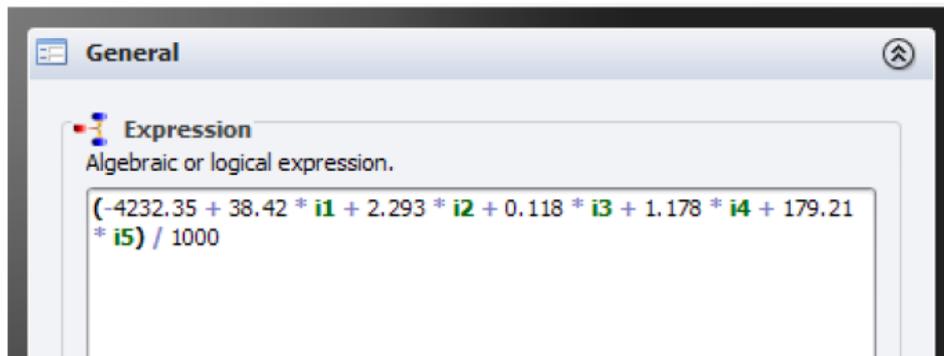


Figura 15 .Expresión para el cálculo del rendimiento de maíz escrita en Dinamica Ego.

Donde:

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.

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

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

Tabla 11. 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)

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

$$\begin{aligned}
 Rent_{maíz} &= 166 \left(\frac{US\$}{ton} \right) \times Y_{maíz} \text{ (ton/ha/año)} - CP_{maíz} \left(\frac{US\$}{ha} \right) - CT_{maíz} \left(\frac{US\$}{ton} \right) \\
 &\quad \times Y_{maíz} \text{ (ton/ha/año)} \\
 &= Y_{corn} \text{ (ton/ha)/year} \left(\frac{166 US}{ton} - \frac{TC_{meat} US\$}{ton} \right) - PC_{corn} \text{ (US\$/ha/año)}
 \end{aligned}$$

La expresión ha sido codificada en Dinamica Ego, como se muestra en la figura 16.

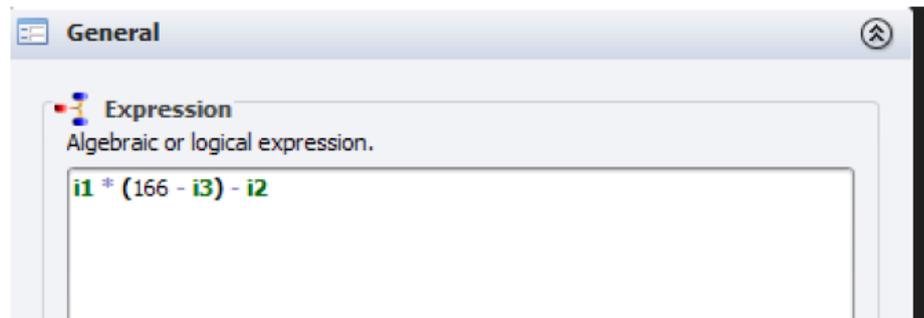


Figura 16. Expresión para el cálculo de la rentabilidad de maíz escrita en Dinamica Ego.

Donde:

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 17.



Figura 17. Expresión para el cálculo del costo de oportunidad escrita en Dinamica Ego

Donde:

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 creó ecuación 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 calculó 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. Ver Figura 1. La superficie de costo de oportunidad creó valores que están entre los -60 US\$/ha/año y los 142 US\$/ha/año. Ver Figura 18. Como se puede observar en la Figura 17 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.

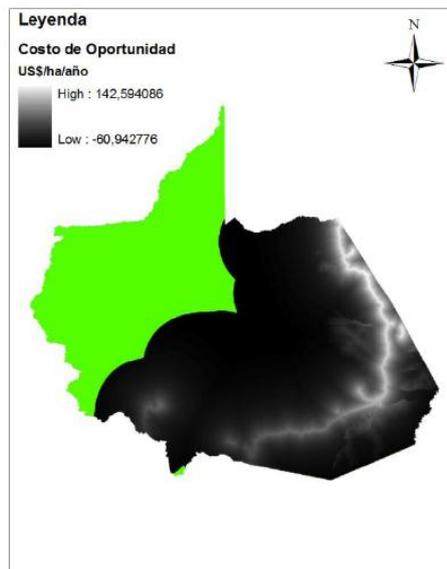


Figura 18. Costo de oportunidad para el año 2000 calculado con la rentabilidad de carne y maíz

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 10. El estrato 3 utiliza tasas de deforestación históricas promedias 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 ganadera o como 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 19.

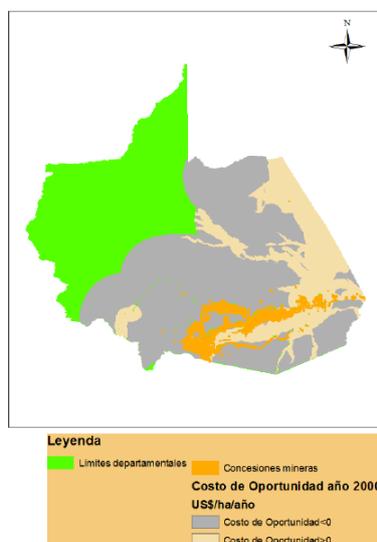


Figura 19. Estratos dinámicos y estáticos del modelo de deforestación

Como puede observarse en la figura 20, 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 19). 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 19 tiene una tasa de deforestación diferente, que tiende al aumento hacia el futuro.

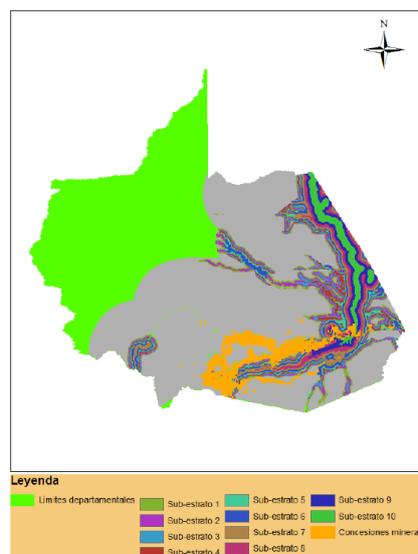


Figura 20. Creación de sub estratos donde el costo de oportunidad es positivo.

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 21.

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.

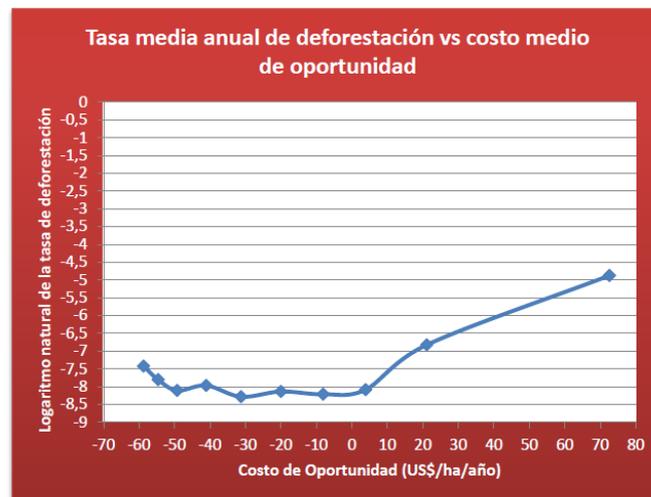


Figura 21. Relación tasa histórica de deforestación y costo medio de oportunidad

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

ESTRATO CONCESIONES MINERAS

El estrato de concesiones mineras (Ver Figura 10) 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 recalcular 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 que para el estrato de concesiones mineras.

ESTRATO COSTO DE OPORTUNIDAD POSITIVO

Una vez fue 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 positiva 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 iteración del modelo para realizar el procedimiento necesario.

Es necesario dividir esta área en un determinado número de categorías, o sub-estratos, (ver figura 22) 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.

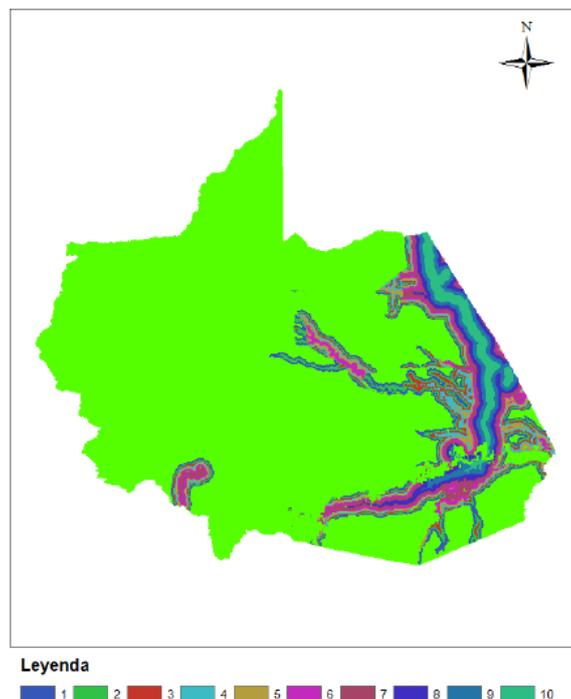


Figura 22. Sub estratos dinámicos del modelo de acuerdo a el valor del costo de oportunidad

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

Los siguientes apuntes corresponden a algunas partes de un primer borrador que ha sido presentado a CDI por el Doctor Tomas de Camino Beck, quien fue contratado para asesorar en temas estadísticos.

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 and 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 and Bates 2000, 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 10 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 11. 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

Los rasters en formato ASCII se tomaron muestras 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 and 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 and Falck 2001) para detalles técnicos). El modelo auto-regresivo utilizado corresponde al modelo GLMM descrito en (Pinheiro and 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 and Gentleman 1996) de distribución libre. El modelo de correlograma se e cue tra e la librería “*cf*” de R. El modelo de regresió con auto-correlació se e cue tra e la librearía “*lme*”.

La figura 23 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 media te “*bootstrappi g*” 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.

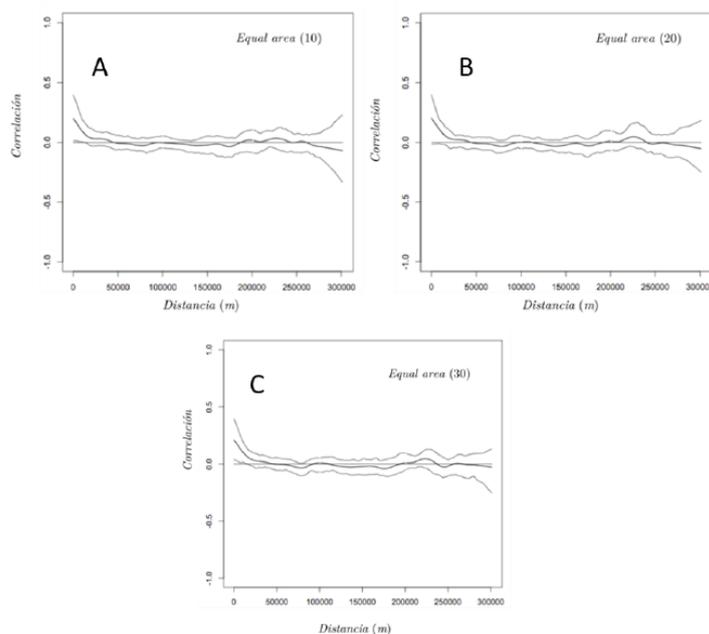


Figura23. Correlogramas para el análisis de la auto-correlación espacial entre la tasa de deforestación y el costo de oportunidad

De las tres opciones consideradas puede observarse que la maximización del R2 (tabla 12) 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 12. 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 ESTIMACIÓN DE LAS ÁREAS ANUALES DE DEFORESTACION NO PLANIFICADA DE LINEA BASE EN EL ÁREA DEL PROYECTO.

Tabla 13. Áreas anuales de deforestación no planificada de línea base del área del proyecto.

(t)	$A_{BSL,RR,unplanned,t} (Ha)$	$A_{BSL,RRD,unplanned,t} (Ha)$	P_{RRL}
2010	397,219.225	430,011.919	0.924
2011	439,146.547	475,400.579	0.924
2012	479,783.998	519,392.882	0.924
2013	519,295.490	562,166.271	0.924
2014	557,777.879	603,825.599	0.924
2015	595,092.400	644,220.644	0.924
2016	631,442.544	683,571.698	0.924
2017	666,866.030	721,919.594	0.924
2018	701,282.765	759,177.625	0.924
2019	734,909.745	795,580.702	0.924
2020	767,598.425	830,968.018	0.924

2.4 ANALISIS DE RESTRICCIONES DE LA DEFORESTACIÓN

2.4.1 Identificación de restricciones al uso del suelo

Según los estudios de la macrozonificación ecológica-económica del departamento de Madre de Dios (Gobierno Regional de Madre de Dios, 2008), se han definido Unidades Ecológicas Económicas (UEE), en base a sus potencialidades y limitaciones.

Con esta información hemos elaborado un cuadro resumen (tabla 14) en el cual presentamos las características del mapa de aptitud productiva para las actividades agropecuarias, definiéndose zonas de cultivos en limpio, cultivos permanentes y pastos.

Tabla 14. Aptitud agropecuaria de áreas actualmente cubiertas de bosque

Aptitud productiva	Ubicación	Limitantes	Área actualmente ocupada por bosque en la Región de Referencia (ha)
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)	Planicie aluvial inundable de los principales ríos como Madre de Dios, Inambari, De los amigos, De las piedras y Tahuamanu	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.	403 250,41
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)	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	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	1 152 944,37
Pastos (22 490,25 ha en toda la región Madre de Dios, 8 509,54 ha en la Región de Referencia del proyecto REDD)	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	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.	1 450 342,83

Fuente: Gobierno Regional de Madre de Dios, 2008

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.

2.4.2 Identificación de tierra forestal que es adecuada para deforestación

En este punto podemos determinar el área potencial para la deforestación, debido a un agente importante el cual es la vía principal, relacionado con un ámbito de expansión de 60 Km, relacionada a la vez con la deforestación al inicio del Proyecto. Los resultados de la aplicación de la fórmula incluida en el módulo BL-UP podemos determinar estas áreas por el lapso de tiempo de la acreditación REDD. (tabla 15)

Tabla 15. Tierra Forestal adecuada para deforestación

Año	$A_{e.dRRL,t}$ (Ha)	LSC_{RRL} (Ha)	$P_{LSC, RRL}$	$A_{BSL, RR, unplanned, t}$ (Ha)
2010	5,370,942	5,638,201	0.621516091	430,012
2011	5,075,472	5,638,201	0.621516091	475,401
2012	4,752,661	5,638,201	0.621516091	519,393
2013	4,403,266	5,638,201	0.621516091	562,166
2014	4,027,979	5,638,201	0.621516091	603,826
2015	3,627,585	5,638,201	0.621516091	644,221
2016	3,202,734	5,638,201	0.621516091	683,572
2017	2,754,050	5,638,201	0.621516091	721,920
2018	2,282,209	5,638,201	0.621516091	759,178
2019	1,787,742	5,638,201	0.621516091	795,581
2020	1,271,282	5,638,201	0.621516091	830,968

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

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 ANALISIS ESPACIALES

3.1.1 Requerimientos de modelos espaciales

Madre de Dios con la Interoceánica mejorará su conectividad del transporte 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 aislados. También va a cambiar los incentivos económicos, las presiones políticas, las identidades y los pesos relativos de los principales agentes sociales de la región (Fernández Felipe-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- Felipe-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 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, las propuestas del gobierno regional son cultivos intensivos como la caña de azúcar y de soja (Dourojeanni, 2006b).

El modelo de la deforestación utilizado para la Región de 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 Dinámica ego 1.6. Este software ha sido revisado y es transparente, así mismo incorpora conjuntos de datos espaciales que han sido documentadas 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

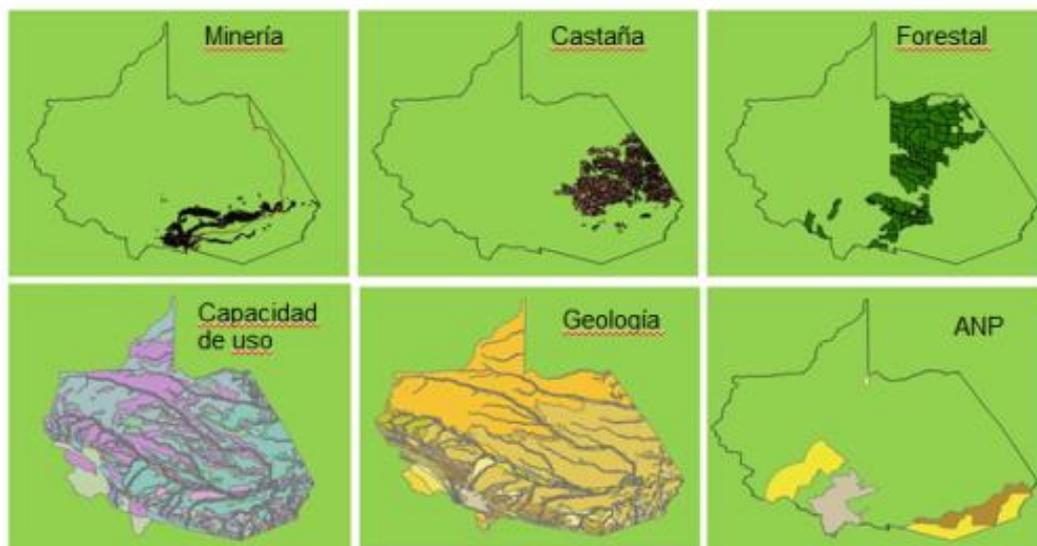
Tabla 16. Variables utilizadas y sus respectivas Fuentes.

Variable	Fuente
Mapas de Deforestación	IIAP
Tipos de Tenencia de la Tierra	DGFFS-MINAG / INGEMMET
Capacidad de Uso Mayor de la Tierra	IIAP
Trazo de la Interoceánica Sur	MTC
Trazos de Vías Secundarias	ACCA
Valores de Fricción – costos de transporte	Stone (1998); Guimaraes y Uih (1998); Nelson et al (1999)
Centros Poblados	INEI
Mercados	GRADE-CSF (2009)
Mapa Geológico	INGEMMET

La investigación mostró que las siguientes categorías de variables espaciales discretas y variables espaciales continuas fueron relevantes para la localización de la deforestación:

- a. Potencial del uso del suelo para diferentes usos de la tierra
- b. Areas Naturales Protegidas
- c. Concesiones de Castaña
- d. Concesiones forestales
- e. Concesiones mineras
- f. Comunidades Nativas
- g. Geología – cuaternario holoceno
- h. Distancia a ríos navegables
- i. Distancia a lugares poblados
- j. Distancia a la interoceánica
- k. Distancia a vías secundarias

VARIABLES CATEGORICAS



VARIABLES CONTINUAS

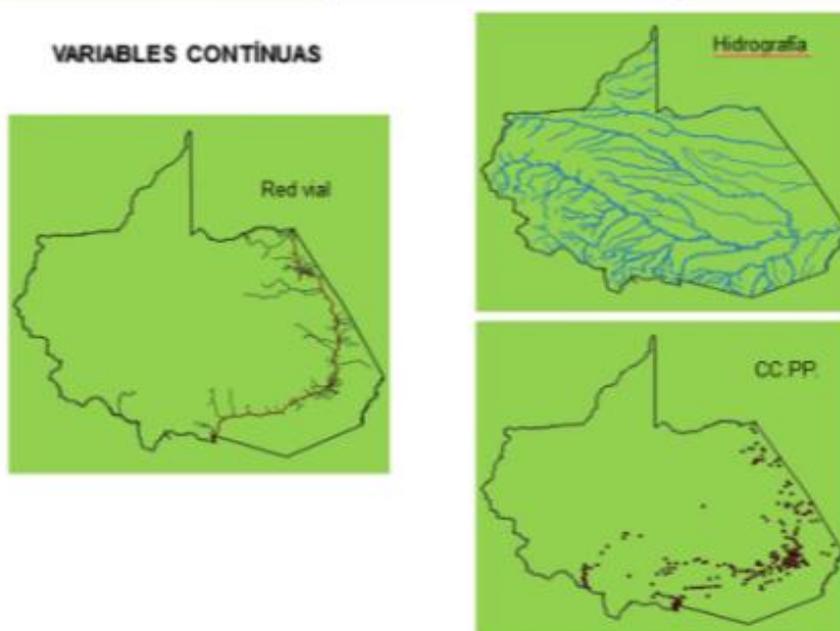


Figura 24. Variables espaciales utilizadas en la modelación de la deforestación.

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, de 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.

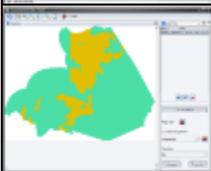
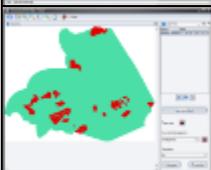
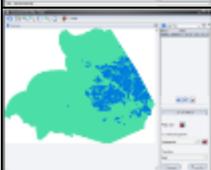
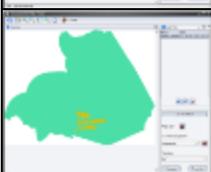
El modelo de deforestación utilizó el software DINAMICA EGO versión 1.4 (UFM, 2009), para proyectar la deforestación en el futuro para un periodo de 40 años. El modelo tomó en cuenta la ubicación, la cantidad, además, consideró de manera paralela la construcción de nuevos segmentos de rutas basados en 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.

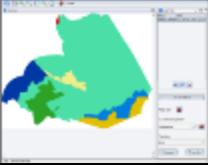
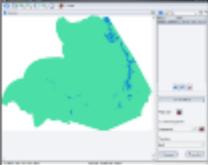
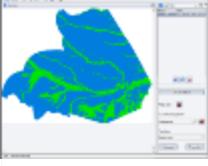
El modelo discriminó dos tipos de deforestación dependiendo de sus ubicaciones, una adyacente a la deforestación existente y otra en ubicaciones completamente nuevas. La ubicación de la nueva deforestación fue dependiente de la probabilidad de encontrar un pixel deforestado dadas ciertas variables estáticas (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 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 (ESRI, 2008).

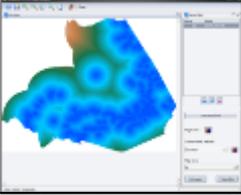
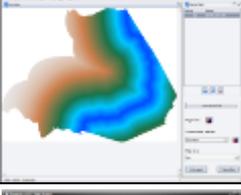
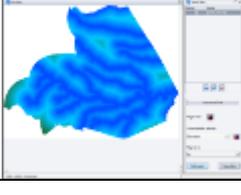
De acuerdo a su naturaleza se han determinado, variables categóricas y continuas.

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

	Peticorios 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, disponemos de las imágenes producidas por el Instituto de Investigación de la Amazonía Peruana (IIAP), realizada 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.

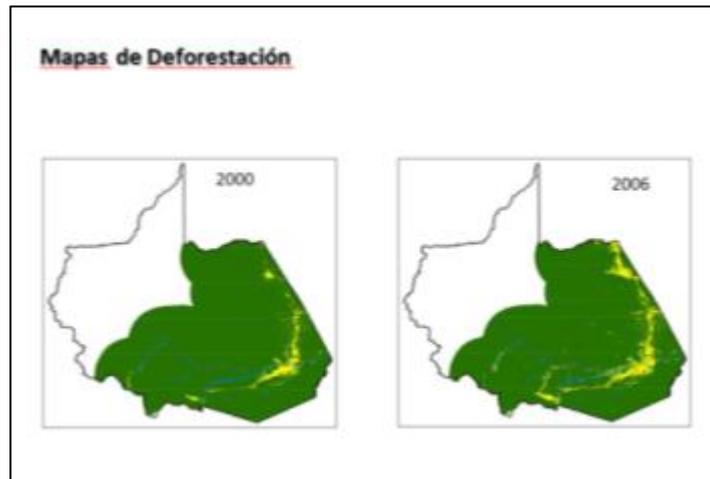


Figura 25: Mapas de escenario inicial y final del patrón de simulacion

3.3 SELECCIÓN DEL MAPA DE RIESGO DE DEFORESTACION MAS 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 drivers que influyen en la transición de Bosque a No bosque.

Para este proceso, es necesaria una serie de pasos previos con las variables o drivers 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 son almacenadas 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.

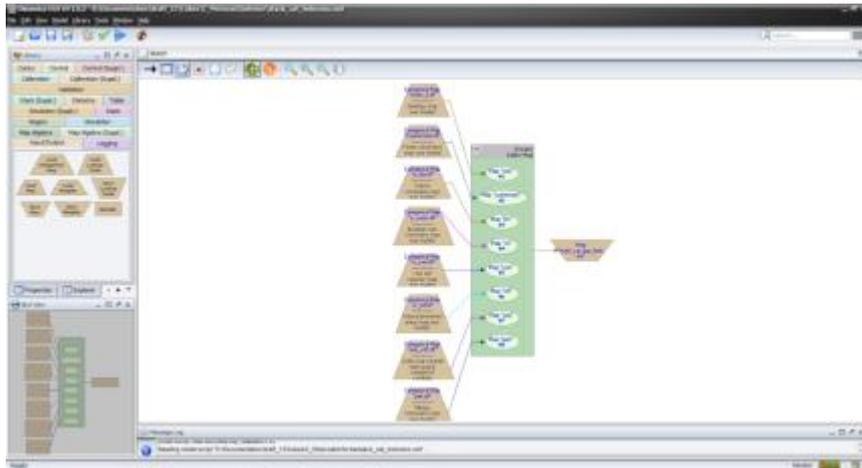


Figura 26. Creación del cubo de variables categóricas

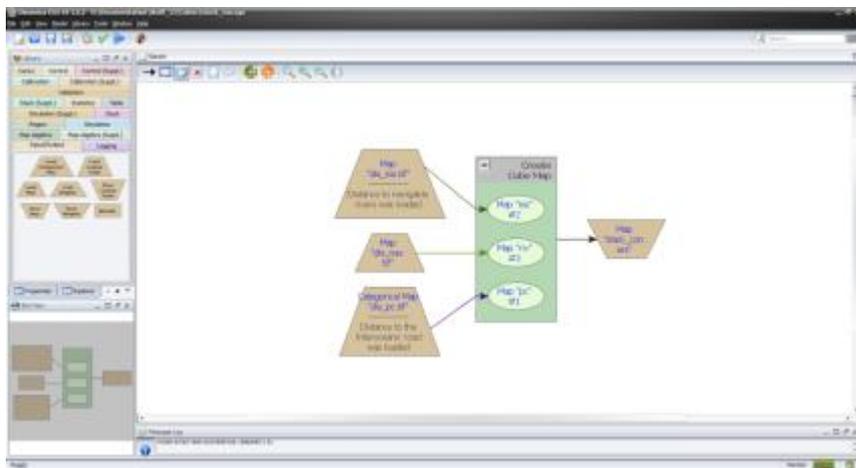


Figura 27. Creación del cubo de variables continuas

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



Figura 28. Introducción de Drives 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 y no categórico. 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 Dinámica EGO.

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 drivers que influyen en la transición de Bosque a No bosque.

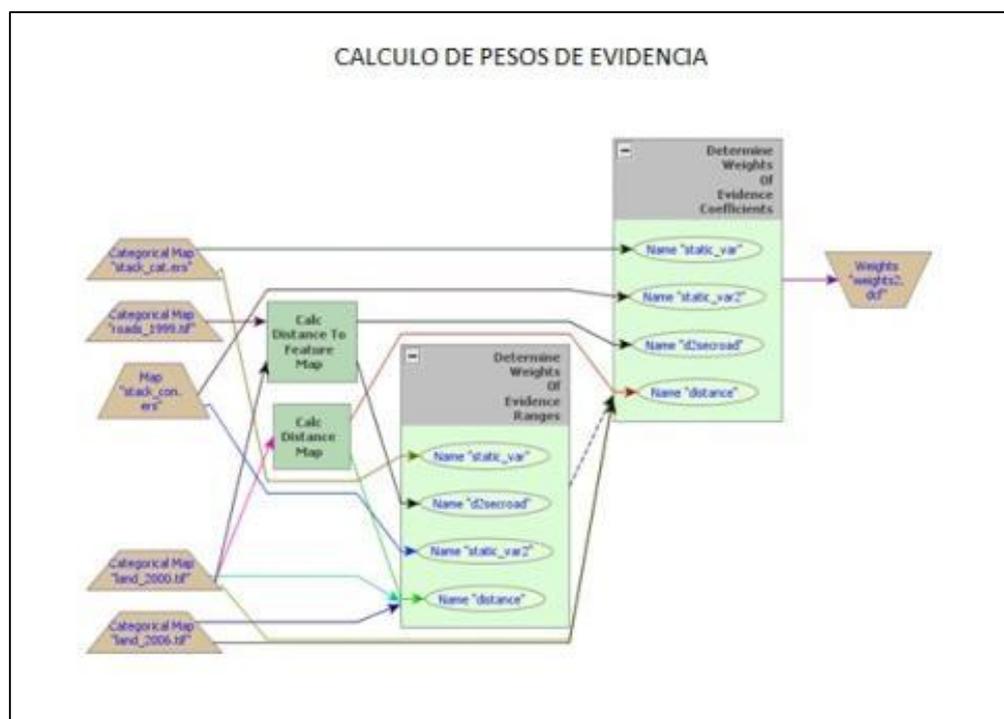


Figura 29. Cálculo de Pesos de Evidencia

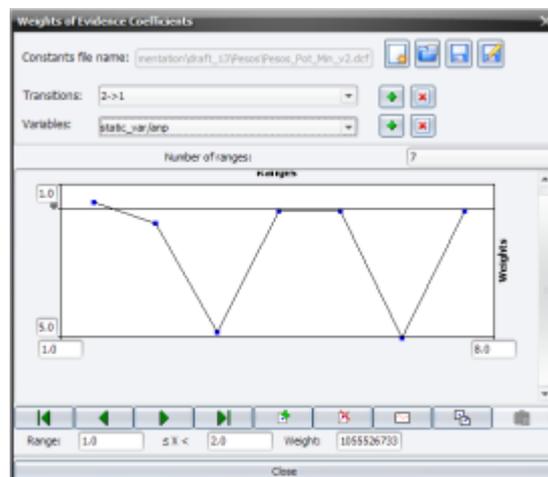


Figura 30. Modelo de lectura de pesos de evidencia en Dinámica EGO

Tabla 17: Característica de atracción de repulsión de la deforestación

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

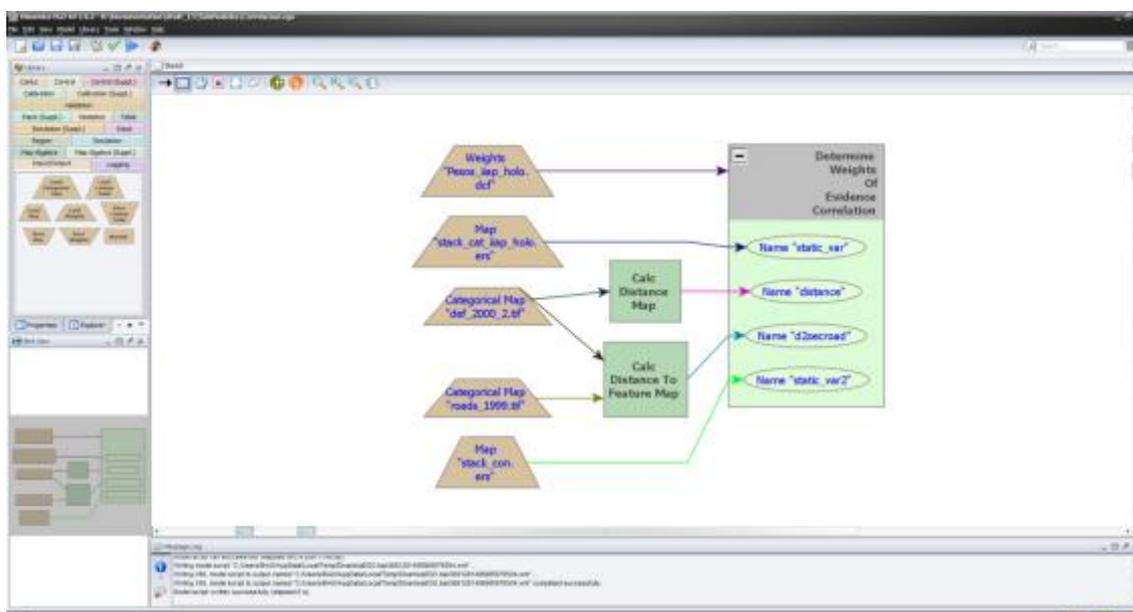


Figura 31. Correlación de Variables

El único supuesto del método de pesos de evidencia es que los mapas a ser utilizados como insumos (i.e. 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 drivers 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 lo desarrollamos usando el software Dinamica EGO, las variables que califican por ser independientes se muestran en la tabla 14.

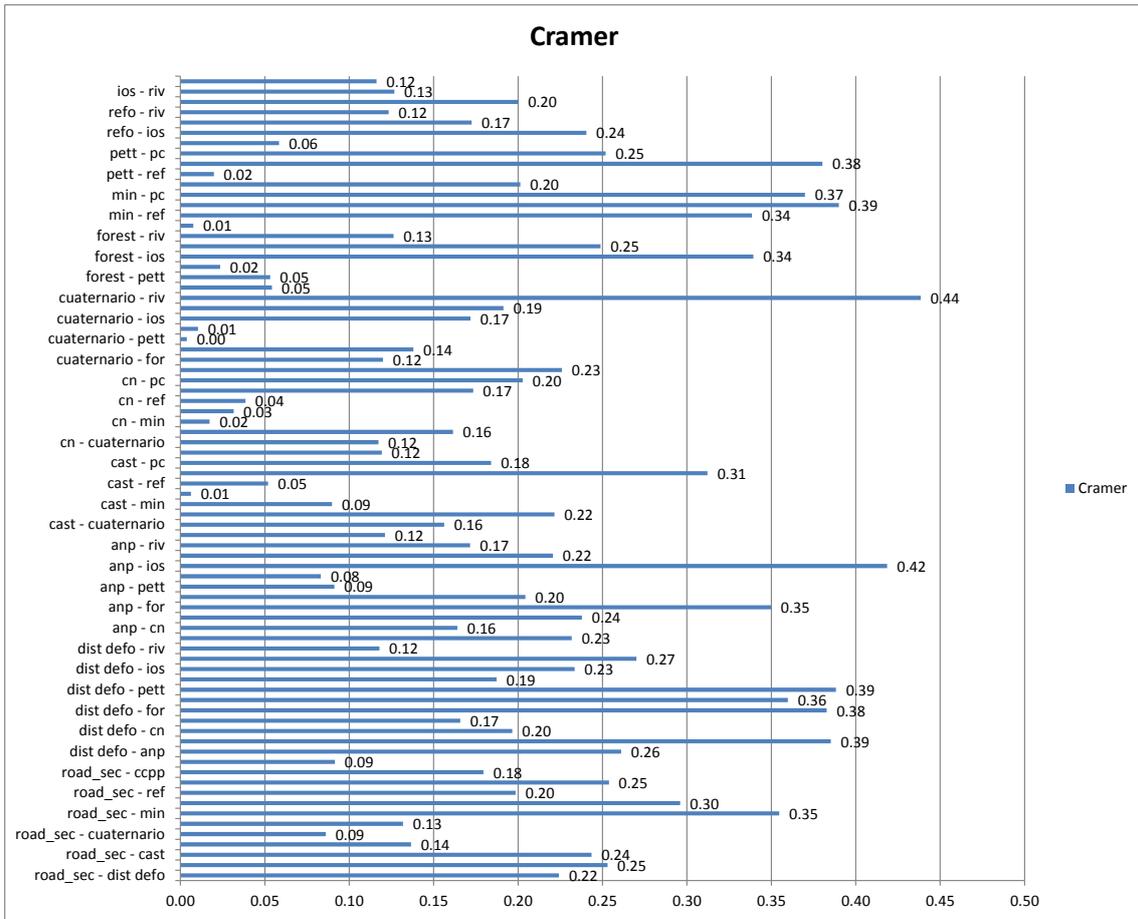


Figura 32. Variables utilizadas en el modelamiento de la deforestación

Como resultado de la modelación proyectada para los años 2010, 2013, 2016 y 2019 en el área de referencia del proyecto se aprecia en las siguientes figuras:

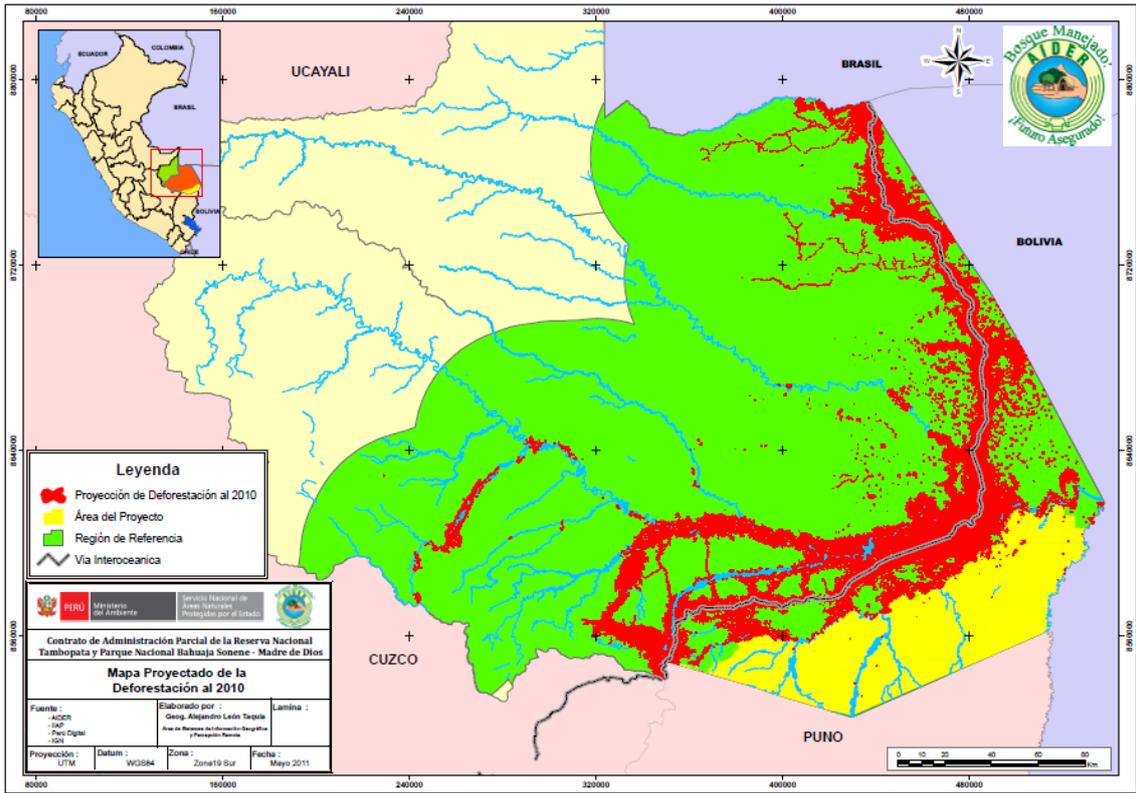


Figura 33. Mapa de deforestación proyectada al 2010

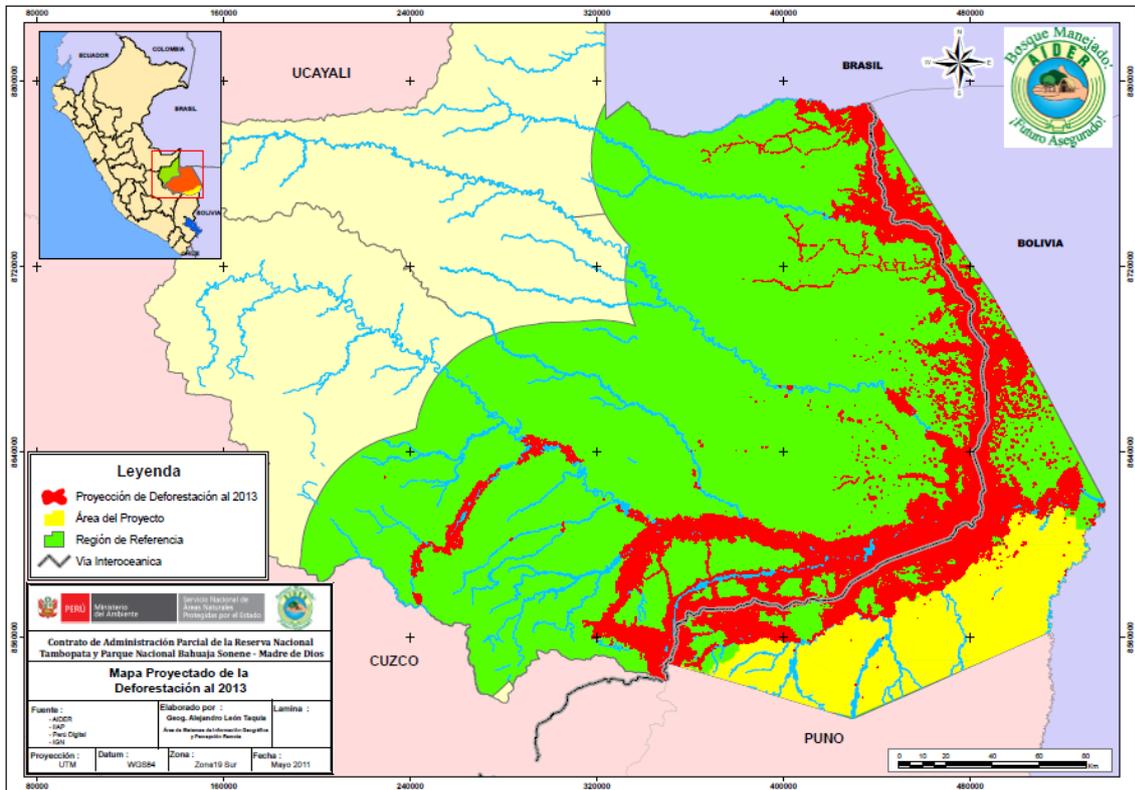


Figura 34. Mapa de deforestación proyectada al 2013

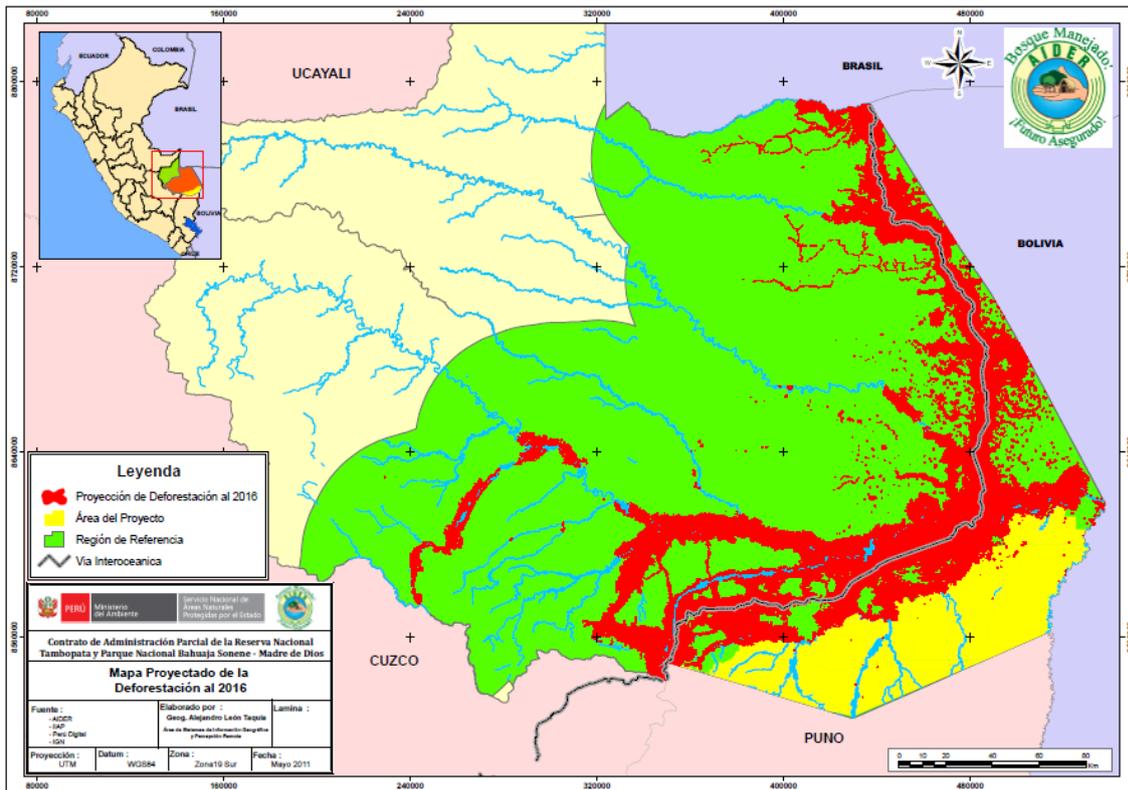


Figura 35. Mapa de deforestación proyectada al 2016

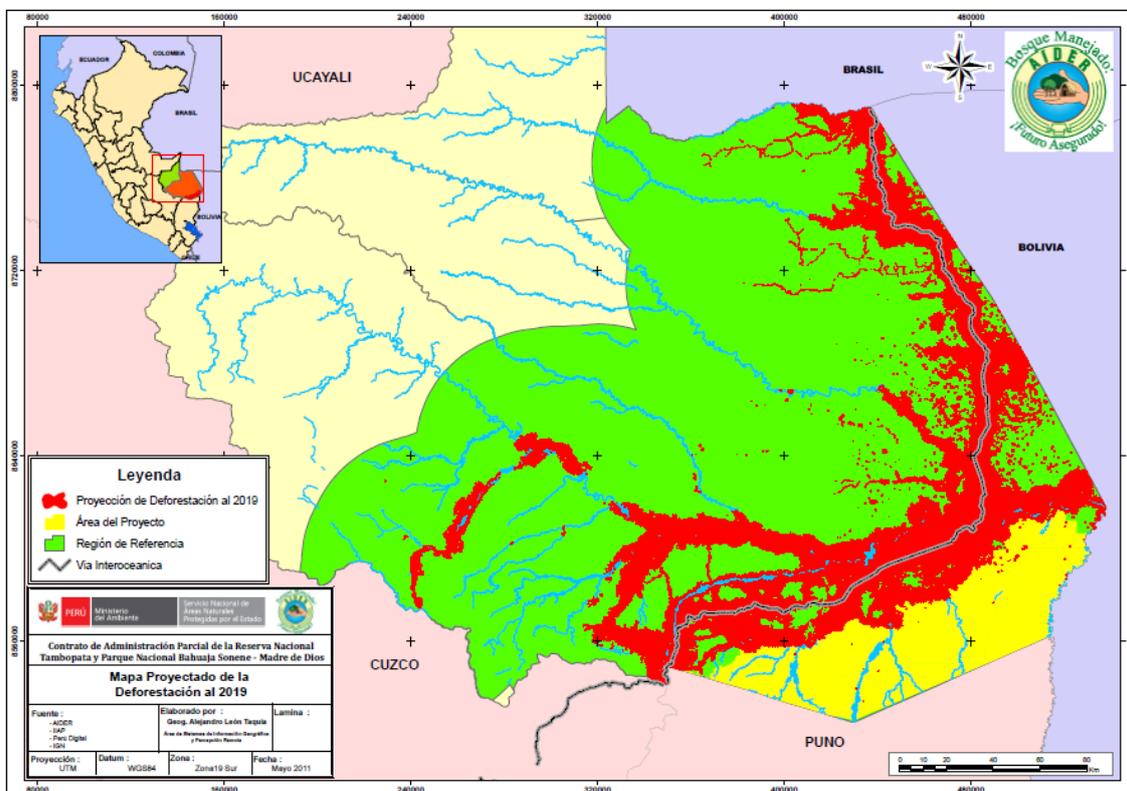


Figura 36. Mapa de deforestación proyectada al 2019

Validación

Para la validación espacial del modelo, es necesario comparar el mapa simulado con un mapa real, que en nuestro 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 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 siguiente tabla 18.

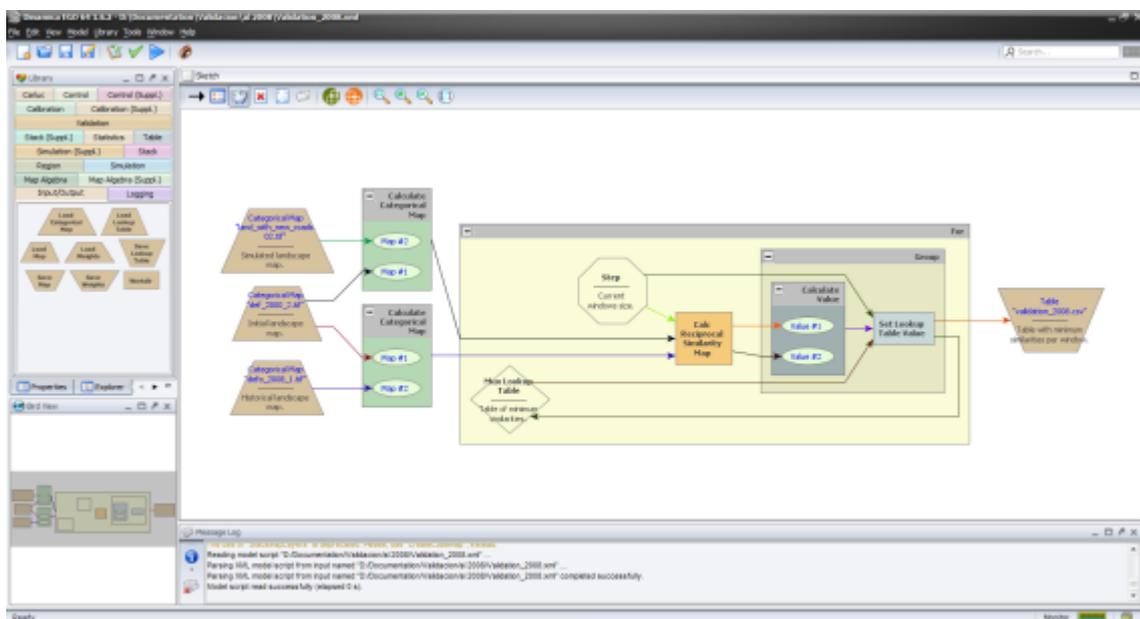


Figura 36. Modelo de Validación

Tabla 18. Tamaño de ventana de validación

Tamaño de ventana	Validación (%)
1	0.6183
3	0.7107
5	0.7639
7	0.7993
9	0.8256
11	0.8464

3.4 MAPEO DE LAS LOCALIZACIONES DE LA DEFORESTA

El siguiente paso no se realiza por ser un tipo de análisis de localización de deforestación por tipo de frontera.

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**

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

- **Selección de información**

La información recopilada y utilizada se describe a continuación:

- 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).
- INRENA, Mapa de Deforestación de la Amazonía Peruana año 2000, escala 1/100,000.
- IIAP, Mapa de Sistemas Ecológicos año 2000, escala: 1/250,000.

- **Procesamiento digital de imágenes de satélite**

Las imágenes de satélite se transformaron de formato Geotiff a formato Img para su procesamiento en el software ENVI 4.7¹. Luego se realizó la composición de las imágenes en tres bandas multiespectrales 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.

Se realizó la interpretación visual en pantalla para los temas de deforestación, fisiografía y tipos de bosque.

Con las imágenes multiespectrales se realizaron los cortes de las imágenes empleando AOI's (Area of Interest) que delimitan las 3 áreas 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 muestreo² empleado para la corrección geométrica de las imágenes de las subescenas, 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 subescenas utilizando la desviación estándar localizada, que consiste en seleccionar una ventana de la subescena que contenga la mayor variabilidad de valores de reflectancia para luego aplicar este realce a toda la subescena.

Con las subescenas multiespectrales se procedió a elaborar el mosaico de imágenes para toda el área de trabajo, evitando en lo posible el contenido de nubes en él.

- **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 Digital³ 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.

¹ Software ENVI facilita la combinación de bandas. Se probó la mejor combinación para diferenciar las asociaciones vegetales

² El método del remuestreo es una función algorítmica del programa ENVI

³ 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

- **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 1), 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 los cuadros 19 y 20, respectivamente:

Cuadro 19. 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

Cuadro 20. Estructura de la base de datos interna del tema de deforestación

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 importante indicar que la metodología empleada no contempla el uso de clasificaciones digitales para obtener los mapas de fisiografía, forestal y uso de la tierra, puesto que, al realizar una interpretación visual, se hacen uso de patrones de forma, textura, tamaño y topológicos entre objetos para discriminar las unidades que se interpretan y que no intervienen en las clasificaciones convencionales, lo que puede llevar a confusión entre clases.

Tuomisto (1994), concluye en su estudio que para fines de estudios de vegetación en bosques húmedos tropicales, los reales simples de las imágenes de satélite proveen por lo menos mayor información que las imágenes producidas con otros análisis (clasificaciones, índices de vegetación).

Por otro lado, Euler (2003), concluye en su estudio que la clasificación visual es el método más eficaz de cartografiado forestal. Sin embargo, señala que tiene limitaciones ya que, en cierta medida, es subjetiva, puede variar según la experiencia del intérprete y su conocimiento del sitio cartografiado y puede ser no repetible; por lo tanto, es necesaria una evaluación en el terreno para confirmar la precisión del cartografiado. Además, indica que algunos factores temporales como las condiciones climáticas, las variaciones estacionales de la vegetación y la presencia de nubes pueden afectar el proceso de interpretación.

Es así que, con todas las sub escenas y subáreas de interés 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 para las áreas de trabajo, 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 9.3.1 – ArcView.

La interpretación de las imágenes de satélites “Lansat” 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. Los resultados del proceso para establecer la estratificación del área de estudio se presentan la figura 37 y la tabla 21.

Tabla 21. Estratificación del área de estudio

Estratos Fisiográficos
Actividad agropecuaria/bosque secundario
Aguajal mixto
Aluvial inundable
Bosque secundario/act. agropecuaria
Colina alta fuerte
Colina alta suave
Colina baja fuerte
Colina baja suave
Lagunas
Ríos
Sabana tropical
Terraza alta
Terraza baja
Terraza disectada fuerte
Terraza disectada suave

Fuente: Equipo Técnico AIDER – 2010

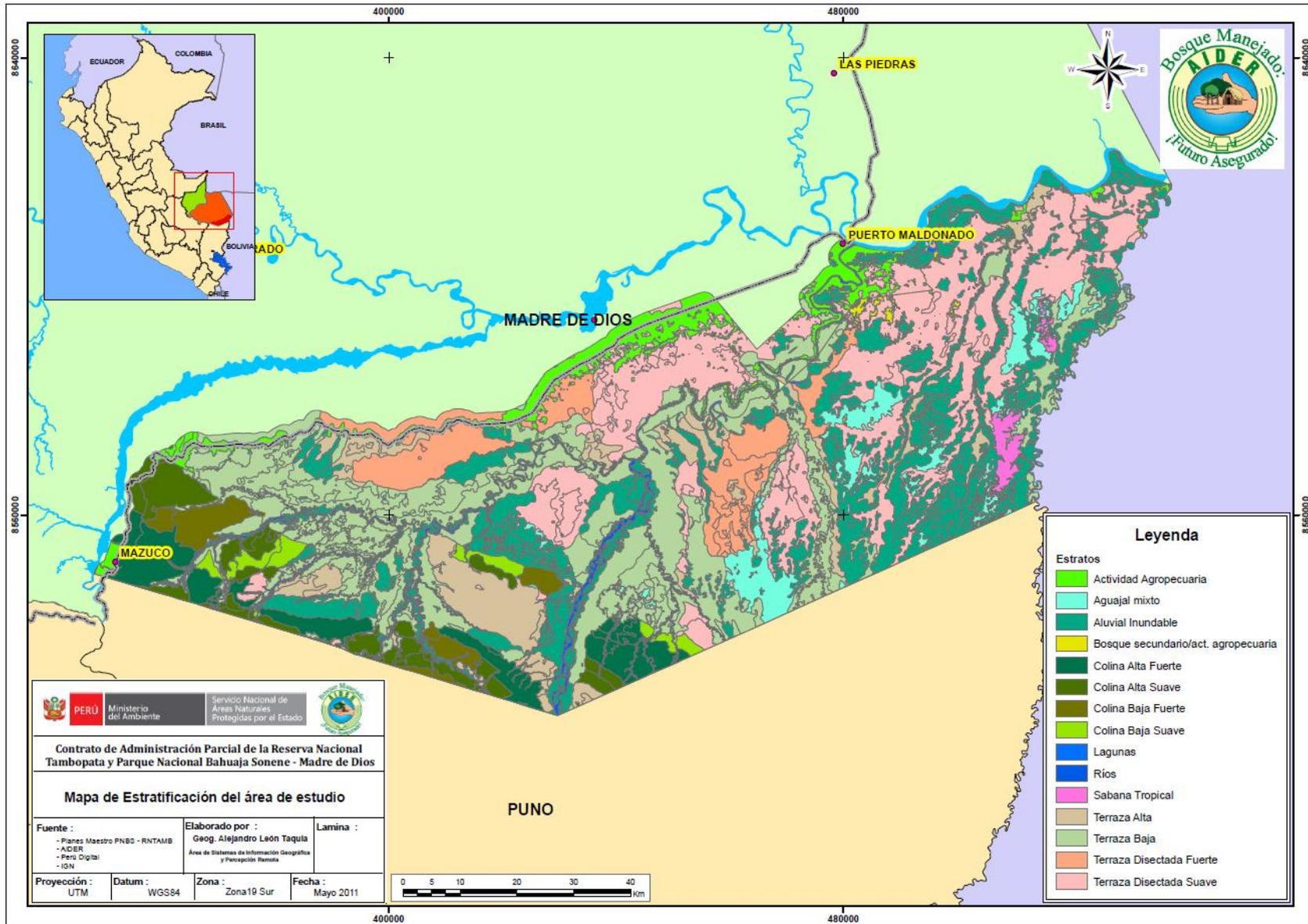


Figura 37. Mapa de Estratificación del área de estudio

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 el siguiente cuadro:

Cuadro 21. Deforestación proyectada por estratos del área de proyecto

Años protegidos	Aguajal mixto		Aluvial Inundable		Colina baja suave		Terraza Alta		Terraza Baja		Terraza Disectada Fuerte		Terraza Disectada Suave		TOTALES	
	Deforestación neta anual (ha)	CO2 (tn)														
2010	13	3,519	68	27,950			10	4,746	294	156,303	0	0	40	17,100	425	209,619
2011	4	1,217	91	37,256			7	3,483	424	225,509	2	1,206	33	13,810	561	282,480
2012	12	3,285	163	67,073			21	10,011	574	305,599	5	2,717	17	7,119	793	395,804
2013	8	2,210	152	62,510			12	5,581	687	365,500	1	524	37	15,477	896	451,803
2014	12	3,288	249	102,295			25	11,712	745	396,550	7	3,796	30	12,620	1,068	530,263
2015	25	7,015	307	126,278			51	24,006	967	514,598	7	3,812	33	14,174	1,391	689,882
2016	6	1,587	304	125,008			16	7,383	1,062	564,984	8	4,413	63	26,609	1,459	729,985
2017	3	961	333	136,598			27	12,651	1,057	562,207	10	5,454	40	16,984	1,470	734,856
2018	22	5,968	423	173,897			33	15,877	1,315	699,481	11	5,996	43	18,245	1,847	919,465
2019	16	4,448	492	202,132			20	9,434	1,326	705,341	18	9,737	45	19,217	1,917	950,308

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 stocks de carbono para cada estrato del área del proyecto y cinturón de fugas de acuerdo a los métodos descritos en los módulos de reservorio 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 nuestro trabajo solo se consideró el carbono almacenado en la biomasa aérea y subterránea 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.

Hojarasca: no es necesario que se incluya este reservorio de carbono, de acuerdo a VCS AFOLU, puesto que no está sujeto a cambios significativos.

Según la metodología utilizada (REDD-MF), este reservorio no es significativo, por lo cual se permite al proponente del proyecto omitirlo conservadoramente.

Carbono orgánico del suelo: según VCS AFOLU, no es necesario incluir este reservorio, debido a que no está sujeto a cambios significativos. El reservorio podría ser incluido debido a impactos positivos en la reducción de emisiones. A pesar que en el área del proyecto la conversión a cultivos anuales es práctica común, lo cual puede causar un gran decrecimiento en el carbono almacenado en el suelo, este reservorio será omitido de manera conservadora.

Según la metodología utilizada (REDD-MF), la exclusión es siempre conservadora.

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

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

$$C_{BSLi} = 58.33 + 16.87 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0$$

$$C_{BSLi} = 75.19 \text{ tC/ha}$$

Estrato aluvial inundable

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

$$C_{BSLi} = 87.31 + 24.71 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0$$

$$C_{BSLi} = 112.02 \text{ tC/ha}$$

Estrato colina alta fuerte

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

$$C_{BSLi} = 117.14 + 30.59 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0$$

$$C_{BSLi} = 147.73 \text{ tC/ha}$$

Estrato colina alta suave

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

$$C_{BSLi} = 102.38 + 27.06 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0$$

$$C_{BSLi} = 129.45 \text{ tC/ha}$$

Estrato colina baja fuerte

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

$$C_{BSLi} = 133.97 + 36.11 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0$$

$$C_{BSLi} = 170.08 \text{ tC/ha}$$

Estrato colina baja suave

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

$$C_{BSLi} = 176.27 + 42.89 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0$$

$$C_{BSLi} = 219.16 \text{ tC/ha}$$

Estrato terraza alta

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

$$C_{BSLi} = 102.75 + 26.77 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0$$

$$C_{BSLi} = 129.53 \text{ tC/ha}$$

Estrato terraza baja

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

$$C_{BSLi} = 115.01 + 30.10 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0$$

$$C_{BSLi} = 145.11 \text{ tC/ha}$$

Estrato de terraza disectada fuerte

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

$$C_{BSLi} = 115.07 + 30.60 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0$$

$$C_{BSLi} = 145.67 \text{ tC/ha}$$

Estrato de terraza disectada suave

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

$$C_{BSLi} = 91.15 + 24.47 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0$$

$$C_{BSLi} = 115.61 \text{ tC/ha}$$

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.

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

Dónde:

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

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

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

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

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

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

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

$C_{SOC,PD-BSL,i}$: 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

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

$$C_{post,i} = 46.6 + 12.3 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0$$

$$C_{post,i} = 58.9$$

Actividad de minería

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

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

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

Áreas urbanas

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

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

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

Carreteras

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

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

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

Para un mayor detalle ver la tabla 22.

Tabla 22. Estimación del carbono almacenado post deforestación

Años	Deforestación neta anual (ha)	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)	Anual (ha)	Biomasa aérea (tCO ₂)	Biomasa subterránea (tCO ₂)	Biomasa total (tCO ₂)
		0.948	46.6	12.3	0.034	0	0	0.009	0	0	0.008	0	0				
2010	425	403	18,773	4,950	15	0	0	4	0	0	4	0	0	425	18,773	4,950	23,723
2011	561	532	24,791	6,537	19	0	0	5	0	0	5	0	0	561	24,791	6,537	31,328
2012	793	752	35,016	9,232	27	0	0	7	0	0	7	0	0	793	35,016	9,232	44,248
2013	896	850	39,604	10,442	31	0	0	8	0	0	7	0	0	896	39,604	10,442	50,047
2014	1,068	1,013	47,178	12,439	37	0	0	10	0	0	9	0	0	1,068	47,178	12,439	59,618
2015	1,391	1,319	61,465	16,206	48	0	0	13	0	0	11	0	0	1,391	61,465	16,206	77,671
2016	1,459	1,383	64,442	16,991	50	0	0	13	0	0	12	0	0	1,459	64,442	16,991	81,433
2017	1,470	1,394	64,930	17,120	50	0	0	13	0	0	12	0	0	1,470	64,930	17,120	82,050
2018	1,847	1,752	81,620	21,521	63	0	0	17	0	0	15	0	0	1,847	81,620	21,521	103,141
2019	1,917	1,819	84,712	22,336	66	0	0	17	0	0	16	0	0	1,917	84,712	22,336	107,047

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:

$$\Delta C_{TOT} = C_{BSL} - C_{post} - C_{wp}$$
$$\Delta C_{BSL} = \sum_{i=1}^t \sum_{i=1}^t ((C_{BSLi}) * A_{unplannedit})$$

$$\Delta C_{BSL} = \sum_{i=1}^t \sum_{i=1}^t (C_{posti} * A_{unplannedit})$$

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 23. Suma de los cambios en el carbono almacenado para el área del proyecto

Años	Deforestación (tCO ₂ -e) C _{BSL}	Post-deforestación (tCO ₂ -e) C _{post}	C _{wp}	ΔC _{TOT}
2010	209,618.8	23,723.3	0	185,895.5
2011	282,480.4	31,328.1	0	251,152.3
2012	395,804.2	44,248.3	0	351,556.0
2013	451,802.6	50,046.6	0	401,756.0
2014	530,262.6	59,617.8	0	470,644.8
2015	689,882.3	77,670.9	0	612,211.4
2016	729,985.1	81,432.7	0	648,552.4
2017	734,855.9	82,050.5	0	652,805.5
2018	919,464.8	103,141.0	0	816,323.9
2019	950,308.1	107,047.5	0	843,260.6

Tabla 24. Suma de los cambios en el carbono almacenado para el cinturón de fugas

Años	Deforestación (tCO ₂ -e) C _{BSL}	Post-deforestación (tCO ₂ -e) C _{post}	C _{wp}	ΔC _{TOT}
2010	4,709,525.9	23,723.3	0	4,685,802.6
2011	4,753,918.8	31,328.1	0	4,722,590.7
2012	4,690,346.3	44,248.3	0	4,646,098.1
2013	4,705,579.1	50,046.6	0	4,655,532.5
2014	4,261,733.3	59,617.8	0	4,202,115.5
2015	4,078,953.6	77,670.9	0	4,001,282.7
2016	3,702,234.0	81,432.7	0	3,620,801.3
2017	3,685,088.6	82,050.5	0	3,603,038.1
2018	3,605,931.5	103,141.0	0	3,502,790.5
2019	3,409,471.2	107,047.5	0	3,302,423.7

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

Este paso fue obviado, para mayor detalle revisar la sección G.2.3 del PDD – CCB.

4.5 Cálculo de emisiones netas en equivalentes de CO₂

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

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

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

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 25. Emisiones netas de GEI en el escenario de línea base por deforestación no planificada

Años	$\Delta C_{BSL,PA,unplanned}$ (CO ₂ -e)	$GHG_{BSL,E}$ (CO ₂ -e)	$\Delta C_{BSL,unplanned}$ (CO ₂ -e)
2010	164,912.7	0	164,913
2011	222,876.0	0	222,876
2012	311,936.0	0	311,936
2013	356,530.5	0	356,531
2014	417,565.5	0	417,566
2015	543,154.2	0	543,154
2016	575,480.9	0	575,481
2017	579,246.4	0	579,246
2018	724,285.4	0	724,285
2019	748,134.8	0	748,135

Tabla 25. Emisiones netas evitadas de GEI en el escenario de línea base por deforestación no planificada del proyecto.

Años proyectados	Deforestación evitada CO2 (tn)	Fugas por desplazamiento de actividades (t CO2-e)	Cambios de stock en la línea base (t CO2-e)	Fugas por efecto de mercado (t CO2-e)	Flujo neto (t CO2)
2010	209,619	20,983	23,723	46.37	164,866
2011	282,480	28,276	31,328	46.37	222,830
2012	395,804	39,620	44,248	46.37	311,890
2013	451,803	45,225	50,047	46.37	356,484
2014	530,263	53,079	59,618	46.37	417,519
2015	689,882	69,057	77,671	46.37	543,108
2016	729,985	73,072	81,433	46.37	575,435
2017	734,856	73,559	82,050	46.37	579,200
2018	919,465	92,038	103,141	46.37	724,239
2019	950,308	95,126	107,047	46.37	748,088
Total	5,894,465	590,036	660,307	464	4,643,659